

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Konstrukce mechanismu pro manipulaci s kamerovým
subsystémem průzkumného robotu

(Design of a mechanism for manipulation with the camera
subsystem of survey robot)

Student: Adam Kratochvíl

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Zdeněk Konečný Ph.D

Prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně všech příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Adam Kratochvíl

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Podpis

Adam Kratochvíl

Na Závodí 43

Sviadnov 73925

Anotace bakalářské práce

KRATOCHVÍL, A. *Konstrukce mechanismu pro manipulaci s kamerovým subsystémem průzkumného robotu*, Ostrava: Katedra robototechniky - 345 VŠB - TUO, 2010, vedoucí bakalářské práce - doc. Ing Zdeněk Konečný Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem manipulačního mechanismu pro kameru průzkumného robotu. Práce má několik částí. První a druhá část práce se zabývá zhodnocením současných konstrukcí, návrhem a výběrem vhodné varianty. Ve třetí části jsou pak navrženy pohony a spočteny průhyby ramen.

Model manipulátoru je vytvořen v programu Pro/ENGINEER Wildfire 4.

Annotation of Thesis

KRATOCHVÍL, A. *Design of a mechanism for the manipulation with the camera subsystem of a survey robot*, Ostrava: Department of robotic technology – 345 VŠB – TUO, head of the work – doc. Ing Zdeněk Konečný Ph.D.

The bachelor thesis deals with a design of a manipulation mechanism for a camera of a survey robot. It consists of several parts. The first and second part of the thesis deal with the evaluation of contemporary constructions, the design and selection of a suitable alternative. In the third part, the drives are designed and the flexures of the arms are calculated.

The model of the manipulator was created in the Pro/ENGINEER Wildfire 4 software.

Obsah

Seznam použitého značení matematickými symboly	5
1 Úvod	7
2 Analýza stávajícího stavu	8
2.1 Mechanismy	8
2.2 Kamery	12
2.3 Pohony	15
3 Požadavkový list	17
4 Kamera a podvozky	18
4.1 Kamera	18
4.2 Podvozky	20
5 Předběžné návrhy řešení konstrukcí manipulátorů	21
5.1 Varianty	21
Varianta 1	21
Obr. 5-1	21
6 Zhodnocení variant na základě hodnotové analýzy	24
7 Popis konstrukce manipulátoru	31
7.1 Konstrukce	31
7.2 Pohony	34
8 Návrh umístění pohonů	36
8.1 Analýza pro horní pohon (dále jen PH):	36
8.2 Analýza pro dolní pohon (dále jen PD):	41
9 Kontrola profilů ramen	45
10 Ekonomické zhodnocení	48
11 Závěr	49
12 Použitá literatura	50

Seznam použitého značení matematickými symboly

t	[s]	Čas
g	[s]	Tíhové zrychlení
F_{PHmax}	[N]	Maximální síla horní aktuátoru
F_{PHmin}	[N]	Minimální síla horní aktuátoru
F_{PDmax}	[N]	Maximální síla horní aktuátoru
F_{PDmin}	[N]	Minimální síla horní aktuátoru
F_{PHx}	[N]	x-ová složka síly Horního aktuátoru
F_{PHY}	[N]	y-ová složka síly Horního aktuátoru
Q_K	[N]	Tíhová síla kamery
Q_{R2}	[N]	Tíhová síla horního ramene
Q_{R1}	[N]	Tíhová síla dolního ramene
Q_{Kx}	[N]	x-ová složka síly kamery
Q_{Ky}	[N]	y-ová složka síly kamery
m_K	[kg]	Hmotnost kamery
m_{R2}	[kg]	Hmotnost horního ramene
R_A	[N]	Výsledná reakce v kloubu horního ramene
R_{Ax}	[N]	x-ová složka reakce v kloubu horního ramene
R_{Ay}	[N]	y-ová složka reakce v kloubu horního ramene
R_{PH}	[N]	Výsledná složka reakce horního aktuátoru
R_{PHx}	[N]	x-ová složka složka reakce horního aktuátoru
R_{PHY}	[N]	y-ová složka složka reakce horního aktuátoru
σ	[°]	Maximální úhel rotace horního ramene
φ	[°]	Maximální úhel rotace dolního ramene
α	[°]	Úhel sklopení ramene 2 vůči zemi
β	[°]	Úhel sklopení horního aktuátoru vůči zemi
δ	[°]	Úhel sklopení horního aktuátoru ramenu 1
ε	[°]	Úhel sklopení reakční síly od ramena 2 k ramenu 1

a	[mm]	Vzdálenost osy kloubu od místa připojení aktuátoru
b	[mm]	Vzdálenost místa připojení aktuátory od těžiště ramene
c	[mm]	Vzdálenost od těžiště k opačnému konci ramene
l	[mm]	Celková délka ramene
A	[mm]	Rozměr profilu ramene
S1	[mm]	Tloušťka stěny ramene
S2	[mm]	Tloušťka stěny ramene
R	[mm]	Poloměr zaoblení ramene
W_x	$[mm^3]$	Průřezový modul v ohybu
I_x	$[mm^4]$	Moment setrvačnosti v ohybu

1 Úvod

Manipulační mechanismy jsou dnes již nedílnou součástí průzkumných robotů, ať už to jsou roboty pro venkovní či vnitřní použití. Takovéto subsystemy jsou na sobě schopné nést mnoho periferních zařízení, jež mohou v různých směrech rozšířit funkce robotu. V drtivé většině případů jsou tato zařízení vybavena vizuálním subsystemem. Ten pomáhá obsluze ovládat robot ze vzdáleného pracoviště a orientovat se v okolním prostředí. Roboty s manipulačními mechanismy nacházejí využití v mnoha odvětvích. Nejčastěji jich využívají armádní sbory při průzkumech různých druhů prostředí, jež by pro člověka mohly být nebezpečné (toxické, znečištěné prostředí; prostředí s nebezpečím výbuchu; ...). Další možná odvětví pro aplikaci těchto zařízení jsou např. hasičské roboty (jsou nasazovány na hašení požárů v extrémních teplotách), invalidní vozíky, kterých dnes už existuje mnoho prototypů, nejčastěji s elektrickými pohony a s velkou škálou externích zařízení, které mají zajistit pomoc při různých druzích tělesných postižení, nebo v dnešní době nově se rozvíjejících robotů v zábavním průmyslu. V budoucnu můžeme očekávat další vývoj těchto systémů, za pomoci nových slitin, mechanismů a pohonů. Především ve smyslu zvyšování stupňů volnosti, zeštíhlování konstrukce, zvyšování nosnosti, tuhosti a operačních rychlostí.

2 Analýza stávajícího stavu

Téma: Konstrukce mechanismu pro manipulaci s kamerovým subsystémem průzkumného robotu.

Analýza je rozdělena do 3. skupin. Za prvé to bude rozbor stávajících řešení mechanismů pro manipulaci na průzkumných, invalidních či armádních robotech. Druhá část se bude zabývat kamerami, jež by se teoreticky daly využít pro tuto aplikaci. V poslední řadě budou popsány dva základní druhy elektrických pohonů, které v řešeních této problematiky převažují.

2.1 Mechanismy



Obr. 2-1

Zajímavá aplikace manipulačního mechanismu na invalidní vozík (obr. 2-1). Postižený si díky jeho pomoci může podat, nasadit či přesunout jakýkoliv předmět do hmotnosti až 1 kilogramu. Na zařízení podobného typu by po menších úpravách šla přimontovat i kamera



Obr. 2-2

Jednoduchý manipulátor kamery malého průzkumného robotu (obr. 2-2) se zdvihá za pomoci aktuátoru. Výsun kamery může dosahovat hodnoty až 0,5 m, při kterém je však do značné míry omezena stabilita robotu v pohybu. V orientačním ústrojí ramene je umístěn polohovací mechanismus pro naklápění kamery kolem osy x (nahoru a dolů) a také je zde pohon, který umožňuje rotaci kolem vertikální osy Z.



Obr. 2-3



Obr. 2-4

Obr. 2-5 - Snake-arm robot (robot s hadí rukou či ramenem). Rameno je velmi lehké a ohebné. Je tvořeno z mnoha obratlů a je schopno natáčet se mezi každým z nich. Takto se může paže pohnout 30 různými směry najednou. Tito roboti jsou nasazováni, když je nutno dostat se na velmi těžko přístupné místo, kde už by rameno s obvyklými 6° volnosti nestačilo.



Obr. 2-5



Obr. 2-6

WiFi SCOUT (Obr. 2-3, 2-4) je určen ke vzdálenému monitorování prostředí, ve kterém je nutno přímé manipulace. Malé kamery jsou umístěny v zápěstích na konci dvou ramen. Obě chápadla mohou zvednout až 300g. Celý robot může jet rychlostí 75 cm/sec. Díky zabudovanému mikrofону a dvěma reproduktorům je skrze něj možno komunikovat s okolím

Obr. 2-6 - Mobilní robot s efektořem se třemi prsty, ve kterých drží vertikálně orientovanou kameru. Dále jsou na manipulátoru robotu instalovány další dvě kamery. Každá na konci jednoho ze dvou ramen. Základ manipulátoru je uložen v přední části samotného robotu. Tímto uložením jsme dosáhli toho, že robot může nahlédnout i do velmi nízkých prostor či do prostor pod robotem např.: pod auto, do kanálu,

Obr. 2-7 – SCOUT - malá robotizovaná jednotka určená pro průzkum. Navržen tak, aby dokázal rychle prozkoumat jakékoliv venkovní prostory a těžko dostupná místa např. vozidla, podvozky, místa pod sedačkami, ventilační šachty, těsná místa. K pohybu využívá hybridního pásového-kolového podvozku, na kterém díky svým rozměrům a váze dokáže dosahovat rychlosti až 10 km/h. Může být vybaven různými zařízeními jako je v tomto případě rameno s uchopovacím efektoem a kamerou umístěnou hned za ním.



Obr. 2-7



Obr. 2-8

Obr. 2-8 - FFR-1 je jedinečný robot konstruovaný pro velmi rizikové požární mise. Dovoluje hasičům plnit velice obtížné operace, které by byly nemožné kvůli fyzickým omezením. K orientaci v prostoru využívá kamery, která vysílá obraz obsluze na vzdáleném pracovišti. Kamera je umístěná ve střední části robotu za hasicím zařízením na výsuvném rameně. Kamera má dva stupně volnosti, které jí dovolují posuv a rotaci na ose Z.

Obr. 2-9 - Foxbot je malý radiem ovládaný robot zvládající průzkumné a seznamovací mise. Robot obsahuje akustické senzory a je navržen tak, aby mohl pracovat na taktické úrovni. Akustické senzory umožňují zjistit polohu a sledování nalezených signálů. K orientaci v prostoru také používá kamery umístěné na nůžkové zdviži. Foxbot je možno ovládat až na 1000m.



Obr. 2-9



Obr. 2-10

Obr. 2-10 - RMI-10F je kompaktní, lehký čtyřkolový robot. Nese 5 kamer se světly z čehož hlavní kamera má 260x zoom a může se otáčet až o 360°. Jeho rameno uzvedne 34 kg ve vzdálenosti 300 mm před podvozkem. Napájen je 24 V bateriemi. Robot má také úchopné čelisti s možností regulace tlaku. Dále je možno na něj umístit brokovnici a jeden disrupter. Všechny zbraně jsou vybaveny laserem pro přesnější zaměřování.

Obr. 2-11 - Robot značky Simulator Systems International

Dálkově ovládaný robot s nízkým podvozkem a manipulátorem se 4 stupni volnosti, který byl konstruován k provádění průzkumných misí v obtížně dostupném a nebezpečném prostředí. Robot váží něco málo pod 14 kg a je navržen tak, aby ho bylo možno přenášet v batohu.



Obr. 2-11



Obr. 2-12

Obr. 2-12 - Robot s nízkým podvozkem a manipulátorem se dvěma stupni volnosti poháněný dvěma aktuátory na 12 V. Manipulátor je specifický svým řešením umístění pohonů a jejich vyklápěcím převodovým mechanismem. Na konci ramene je chapadlo, které při maximálním natažení může zdvihnout až 8 kg.

2.2 Kamery

Kamera průzkumného robotu by měla zaručit kvalitní obraz, dostatečný zoom (přiblížení), možnost polohování (natačení ve dvou osách), osvětlení, atd.. Tato kritéria nám otevírají širokou škálu možností pro výběr.

V současné době se s nejlepší kvalitou obrazu může předvést technologie full HD, což jsou kamery s výrazně vyšším rozlišením, než jaké umožňují tradiční formáty (PAL, SECAM, NTSC). Je mnoho různých typů - Klasické ruční kamery nám mohou nabídnout nejen velmi dobrý a stabilní obraz, ale i spoustu dalších funkcí jako jsou ukládání videa do interní paměti, dálkové ovládání, kvalitní zoom, atd. Velmi často se v aplikacích manipulačních subsystémů robotů využívají kamerové hlavy, kde je optika oddělena od zbylé elektroniky kamery. Průmyslové kamery nebo obyčejné webkamery s lepším rozlišením jsou aplikovány již méně často kvůli jejich robustnosti a v případě průmyslových kamer mnohdy energetické náročnosti. Na obr. 2-18 a obr. 2-19 je zachycena a speciálně vyvinutá kamerová hlava, která pomocí několika optických jednotek zachycuje obraz ve 3D.



Obr. 1-13

Zde je kamera značky Sony, která dokáže nahrávat video v HD rozlišení. Kamera má mnoho dalších funkcí mimo jiné je schopná zajistit dostatečně silný zdroj světla pro natáčení ve tmě, ale především je vybavena dálkovým ovládáním, což může být neocenitelná vlastnost.



Obr. 2-14



Obr. 2-15

Kamerové hlavy od Toshiba se nám můžou pochlubit především svou velikostí a hmotností (zajištěno tím, že interface je odveden kabelem mimo samotnou optiku kamery). Nahrávají v rozlišení full HD, takže jejich velikost není na úkor obrazu. Na obr. 2-14 je momentálně nejmenší kamerová hlava s HD rozlišením na světě. Vzhledem k hmotnosti hlav se při jejich využití nabízí aplikace po dvojicích a tím vytvoření stereo kamerového systému.



Obr. 2-16

Obr. 2-16 - Malá průmyslová kamera s dobrým optickým zoomem (27x), rozlišením (537x492), pracující na napětí 12V a s velice příznivou hmotností i cenou, je ideální pro mobilní robot.

Obr. 2-17 - Kamera s dobrým rozlišením. Samotná hlava je umístěna v jednoduché konstrukci, která umožňuje natáčení kolem dvou os. Tyto druhy kamer mají rozličné způsoby využití. Nejčastěji to jsou web či průmyslové kamery.

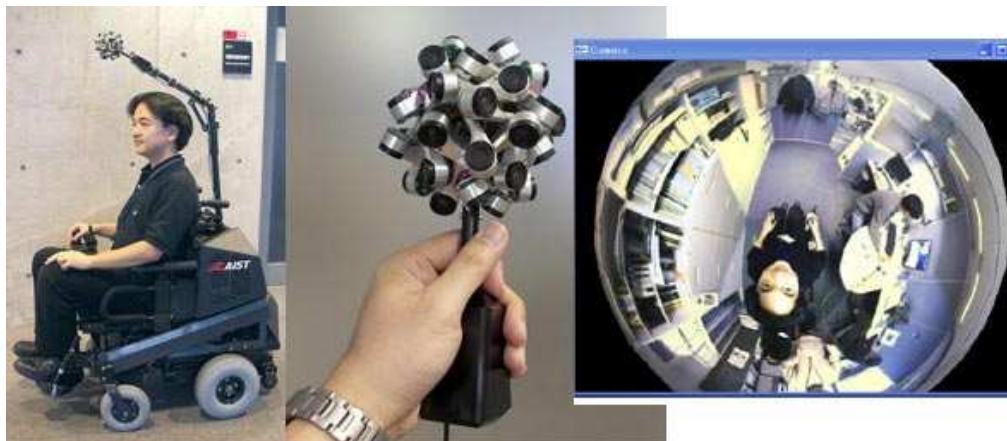


Obr. 2-17



Obr. 2-18

Na obr. 2-18 a 2-19 je zachycena speciálně vyvinutá kamerová hlava, která není vybavena jen jednou, ale rovnou 25 optickými jednotkami. Je navržena tak, že snímá vaše okolí v rozsahu 360°. Byla vyrobena především za účelem monitoringu tělesně postižených a při samotné aplikaci je umístěna na invalidním vozíku.



Obr. 2-19



Obr. 2-20

TV digitální kamerová hlava (Obr. 2-20) s možností přepínání režimu den/noc, rozlišením 580 tv řádků a hmotností 80 g. Rozměry 29x110 mm.



Obr.2-21

Pístový mechanismus (Obr. 2-21) polohující kamerový subsystém nahoru a dolů. Stereo vizuální systém, jaký zde vidíme, nám umožňuje dosáhnout širšího rozhledu po okolí. Sofistikovanější stereo vizuální systémy nám umožňují nahlédnout do rozhraní 3D, kdy každá kamera zabírá stejný obraz, ale z jiného úhlu. Video je potom upraveno tak, že se vysílají záběry z těchto dvou kamer přes sebe a při pohledu na něj přes speciální brýle vytváří dojem 3D obrazu.

2.3 Pohony

V oboru robotika se využívají snad všechny druhy elektrických, pneumatických a hydraulických motorů. Nejvíce jsou to však elektrické motory a to především v oboru servisních robotů. Mají dobrou dynamiku, řiditelnost, velký rozsah výkonů a rychlostí.

Rotační elektromotory



Obr. 2-22



Obr. 2-23

Rotační elektromotory našly v robotice velké uplatnění a stojí na první příčce ve využívanosti. Vyrábí se v mnoha různých variantách a provedeních. Například v současné době se uplatňují tzv. motorové jednotky, které tvoří kompaktní modul skládající se z čidel polohy a rychlosti, z brzdy, elektromotoru a z převodovky kvůli potřebě redukce otáček. Velmi často se elektromotory využívají spolu s mechanismy určenými pro transformaci pohybu (rotace – translace) jako jsou kuličkové či válečkové šrouby. Z této kombinace vzešly právě lineární aktuátory, které jsou v současné době na trhu velmi oblíbené díky svému výkonu a především ceně.

Elektrické lineární motory



Obr. 2-24



Obr. 2-25



Obr. 2-26



Obr. 2-25

Lineární aktuátory se vyrábí v mnoha velikostech od miniaturních o délce 100 mm, až po stojanové aktuátory se zátěžnou silou až 8000 N. Jejich základem je elektromotor s převodovkou, jehož rotační pohyb je transformován, ať už přímo nebo přes různá ozubená kola, na translační pohyb pomocí kuličkového šroubu. Elektromotor roztáčí šroub, jehož matice je zafixována proti rotaci a je tím nucena k lineárnímu pohybu po šroubu. Nosnost aktuátoru záleží především na výkonu motoru, ale také na průměru kuličkového šroubu. U velmi silných pohonů mnohdy nejsou důležité jeho příčné rozměry. Proto je výhodné jejich rozměrné motory aplikovat vedle osy šroubu a poté jejich pohyb převést např. pomocí čelních (obr. 2-24) či kuželových ozubených kol (obr. 2-26). U lineárních pohonů menších rozměrů a nosností je naopak často motor aplikován přímo do osy šroubu (Obr. 2-25, 1-27).

3 Požadavkový list

Hlavní požadavky

- Vlastní rozměry
 1. Maximální hmotnost konstrukce 10 kg
 2. Dosah ramene 1,5 m
 3. Jednoduchost konstrukce
 4. Minimální vnější rozměry

- Způsob připojení
 1. Napájení – DC 12 V
 2. Dálkové ovládaná kamera
 3. Dálkově ovládané rameno
 4. Dosah signálu 100 m

- Provozní vlastnosti
 1. Přesnost polohování 1 mm
 2. Dostatečná polohová tuhost konstrukce 0,5 mm
 3. Nosnost 0,5 – 1 kg
 4. Minimálně 1° volnosti (s kamerou 3°)

4 Kamera a podvozky

4.1 Kamera

Jako koncový člen byla nakonec po dohodě s vedoucím práce vybrána kamera **IP edimax IC-7000PTn v.1.**

IP Kamery

IP (internet protocol) kamery nebo také starší CCTV kamery (closed-circuit television - uzavřený televizní okruh) využívají síť internet pro přenos obrazu a kontrolních signálů. IP kamery se ve většině případů využívají k monitorování objektů a budov. Tato kamera je vybavena dvoucestným audio vstupem, který dovoluje uživateli komunikovat s tím, co vidí na monitoru (např. obsluha čerpací stanice může navigovat zákazníka skrze tuto kameru, jak použít čerpací hadici). Mnoho typů má v sobě zabudovanou LED diodu. To umožňuje snímat kvalitní a světlý obraz i v temných místech či v místech s nižší viditelností.



Obr. 4-1

Výhody:

- Podporují mnoho různých rozlišení včetně standardního analogového CCTV a megapixelového rozlišení.
- Možnost digitálního zoomu velmi kvalitních megapixelových obrázků
- Není potřeba žádný další video encoder k převedení analogového signálu na digitální.
- Podporují nové inteligentní detekce pohybu spolu s rozpoznáváním tvarů.
- Možnost vzdálené konfigurace, diagnostiky a údržby

Nevýhody:

(Srovnání nových IP
a starších CCTV
kamer)

- Vyšší cena
- Zatím není mnoho výrobců
- Různé IP kamery mohou kódovat video různě a používat

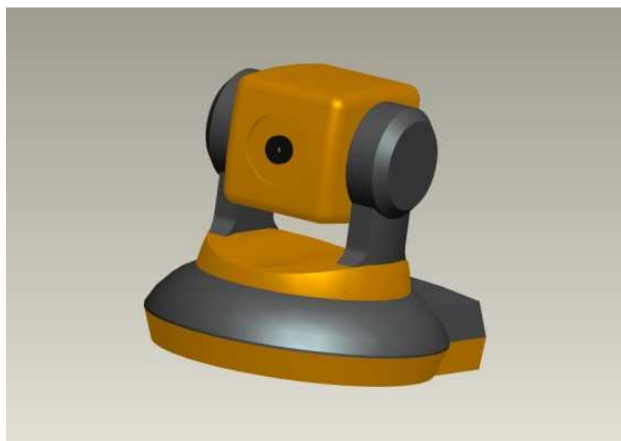
jiný programový interface. Proto je nutné si ke kameře zajistit vhodný IP video rekorder.

- Složitější nastavení bezdrátové sítě
- Malý dynamický rozsah – tj. snížená schopnost vyrovnat se s málo osvětleným či vysokokontrastním prostředím.

Parametry edimax IC-7000PTn v.1

Snímač:	Micron MI-1320 – 1,3MPx CMOS
Rozlišení:	1280 x 1024 pixelů
Přisvícení:	Ne
Zaostřování:	Manuální
Mikrofon:	Ano
Formát zvuku:	Obousměrné audio
Formát videa:	MPEG-4 / MJPEG, Dual Codec, Dual Stream
Detekce pohybu:	Ano
Paměťové karty:	1x slot SD/SDHC
Objektiv:	f=5 mm (f=ohnisková vzdálenost čoček)
Wi-Fi bezdrátová síťová karta:	Ano
Motorické otáčení kamery:	Ano ($\pm 355^\circ$ horizontálně, $\pm 120^\circ$ vertikálně)
Způsoby konfigurace:	Přes webové rozhraní
Podpora OS:	Windows 2000, XP, Vista, 7
Napájení:	externí napájecí adaptér DC 12 V, 1A
Rozměry (V x Š x H):	112 x 108 x 108 mm

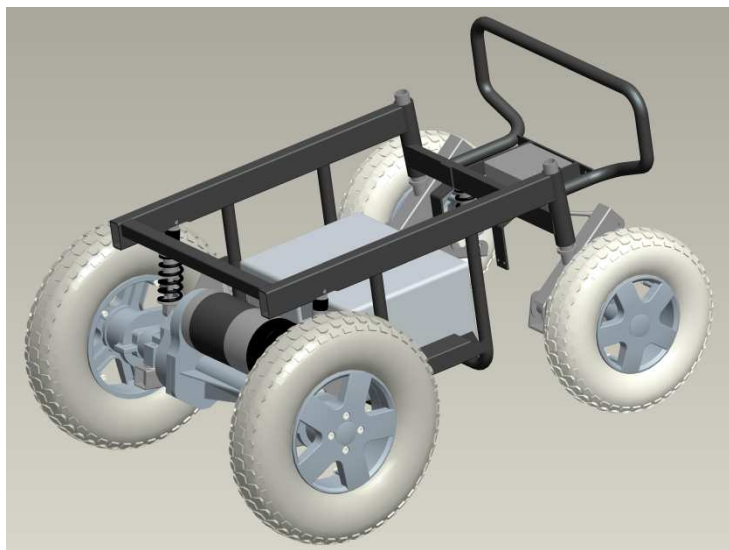
Pro přesnější představu o rozměrech a vlastnostech kamery byl vytvořen model. Podle jednoduchého matematického postupu byla přepočtena hustota materiálu tak, aby váha modelu odpovídala váze skutečné kamery.



Obr. 4-2

4.2 Podvozky

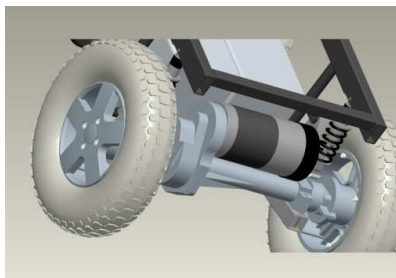
Podvozek robotu Hercules



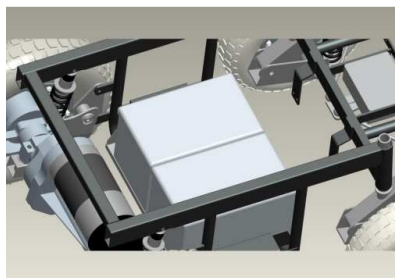
Obr. 4-3

Čtyřkolový podvozek s nezávislým odpružením a náhonem předních kol. Motor (obr. 4-4), jež jej pohání, je připojen ke dvěma bateriím umístěným ve střední části konstrukce podvozku (obr. 4-5). Směr pohybu pak mají na starost zadní kola, která jsou připojena na jednoduchý ovládací kyvadlový

mechanismus (obr. 4-6). Na této pevné konstrukci se nabízí mnoho možností k umístění třeba i hmotnějšího manipulačního zařízení. Umístění manipulátorů na podvozku bude podmíněno rozmístěním ostatních periferií s ohledem na jejich pracovní prostor. Zařízení musí být tedy umístěny tak, aby se navzájem neomezovaly.



Obr. 4-4

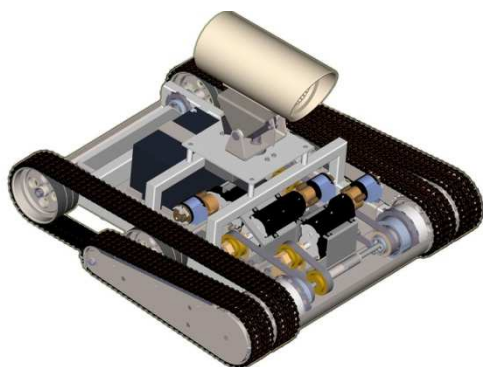


Obr. 4-5



Obr. 4-6

Pásový podvozek



Obr. 4-7

Pásový podvozek stojí na šesti kolech (dva pásy po třech kolech), z čehož vždy každý pás je hnáný jedním kolem. Pro pohon zde byly zvoleny dva DC motory řízené diferenčně (smykem). Podvozek je poměrně malý (580 x 430 x 160 mm) a lehký. Řízený je na dálku radiovými přenosy. Zhruba uprostřed jeho konstrukce je umístěna robustní ručně

stavitelná kamera, která snímá co se děje okolo robotu (záleží kterým směrem je kamera

nastavena). Tato kamera by se dala s výhodou zaměnit za jednoduchý dálkově ovládaný manipulátor a kamerou. Tím by se dosáhlo toho, že by měl robot větší rozhled po okolním prostředí.

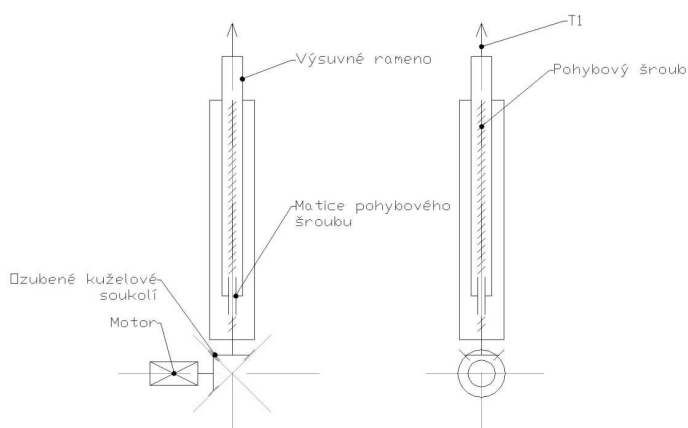
Manipulátor je navržen tak, že se dá díky své hmotnosti a rozměrům aplikovat téměř na jakýkoliv podvozek.

5 Předběžné návrhy řešení konstrukcí manipulátorů

5.1 Varianty

Vzhledem k funkčnosti a rozsahům pohybů zadané kamery se můžeme omezit na mechanismus, který bude schopen polohovat kameru pouze vertikálně tedy s 1 stupněm volnosti. Pokud bychom však s kamerou chtěli dohlédnout na nějaké vzdálené a špatně dostupné místo, nemůžeme se vždy spolehnout na zoom kamery. Jsou to hlavně případy, ve kterých musíme obcházet překážku, abychom dosáhli dobrého výhledu na sledovaný objekt.

Varianta 1



Obr. 5-1

nebylo nutné do mechanismu aplikovat brzdu. Je na nich také upevněno samotné výsuvné rameno, na jehož konci je ustavena daná kamera. Samotný manipulátor má tedy podle popisu jeden stupeň volnosti. Po přidání kamery se dostaneme na konečné 3 stupně volnosti. Mechanismus je navržen tak, aby se mohl polohovat vertikálně a dostávat tak kameru co nejvýš. Mohl by být umístěn například v zadní části podvozku.

Varianta č. 1 se skládá z motoru s převodovkou, který za pomoci dvou kuželových ozubených kol bez převodu, přenáší rotační pohyb na pohybový šroub. Zde se pohyb pomocí matice na šroubu transformuje na translační. Matice jsou dvě proti sobě navzájem předepnuté tak, aby

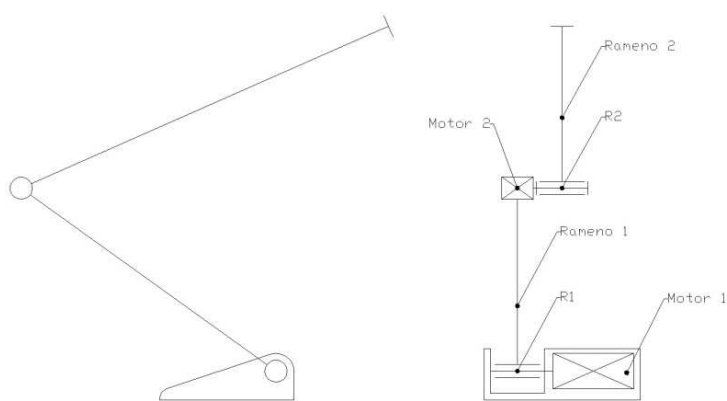


Obr. 5-2



Obr. 5-3

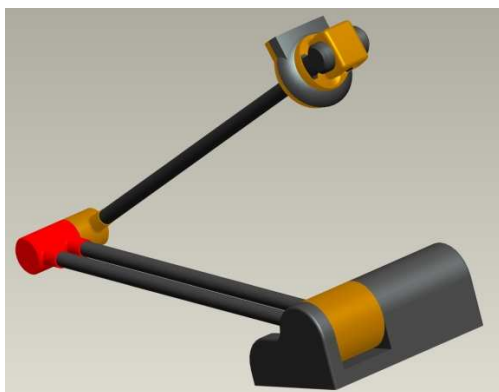
Varianta 2



Obr. 5-4

Varianta č. 2 je inspirována většinou průzkumných robotů s manipulační nadstavbou. Skládá se ze dvou ramen, z nichž každé je poháněno vlastním motorem (umístění motorů viz obr. 5-4). Mechanismus má dva stupně volnosti (+ kamera 2°) a jeho

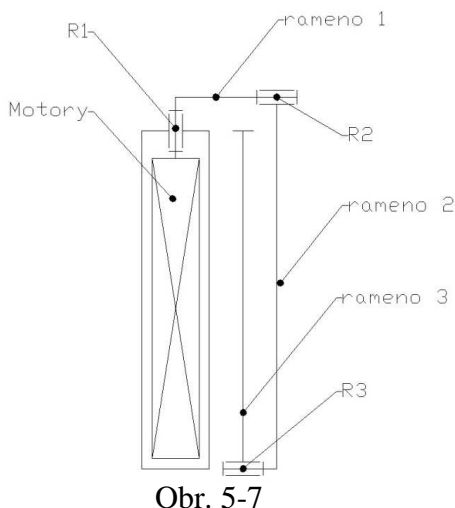
kinematická struktura mu dovoluje dosáhnout i na některá méně přístupná místa. Další velkou výhodou je, že se dá složit do velice skladné polohy.



Obr. 5-5

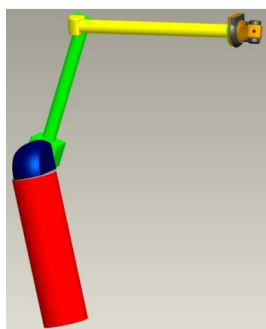


Obr. 5-6

Varianta 3.

Obr. 5-7

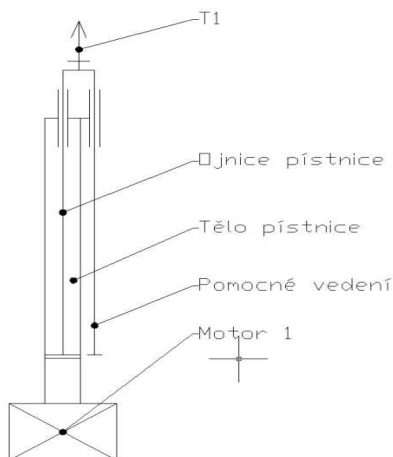
Varianta č. 3 s motory v základu je konstrukčně nejsložitější z variant. V základu musí být uloženy 3 pohonné jednotky, které pohánějí vždy jeden stupeň volnosti. Přes složité převodové mechanismy jsou jejich pohyby převedeny do příslušných kloubů tak, aby se pohyby v kloubech vzájemně neovlivňovaly. Při takovémto umístění motorů získávají ramena příznivé vlastnosti vzhledem k dynamice konstrukce. Manipulátor samotný má 3 stupně volnosti a s kamerou 5 stupňů. Jeho umístění na podvozku by bylo nejefektivnější v okrajové části robotu, nikoliv uprostřed vzhledem k jeho omezenému dosahu. Konstrukce je také mírně hmotnější oproti ostatním variantám.



Obr. 5-8



Obr. 5-9

Varianta 4.

Obr. 5-10

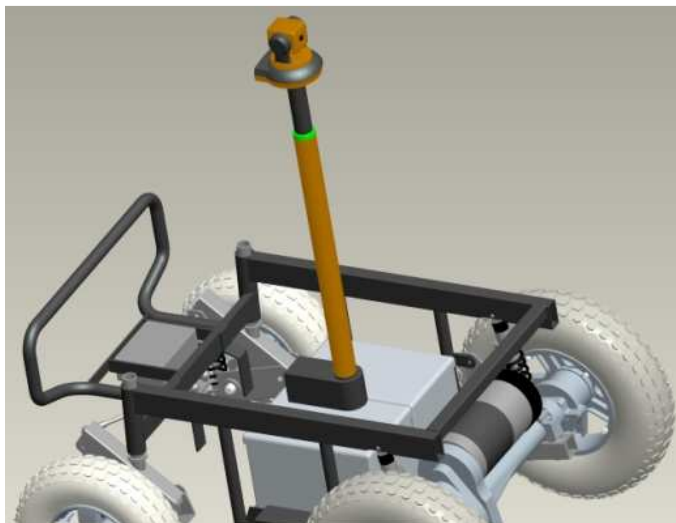
Varianta č. 4 je založena na principu pístnice, která je poháněna pneumatickým či hydraulickým motorem, jež je umístěn pod pístnicí. Ten svým působením vytlačuje ojnicí pístu vzhůru a tím polohuje kamerou na jejím konci. Proti rotaci musí být zajištěna vedením či tvarovou úpravou pístu. Mechanismus má 1 stupeň volnosti. Volba pohonu závisí na druhu aplikace robotu. V našem případě se vzhledem k malé váze kamery nabízí

pneumatický pohon. Umožňoval by přesně a s velikou rychlostí polohovat kameru, avšak

bylo by to na úkor nosnosti, hlučnosti a robustnosti pohonu. Hydraulický pohon by naopak zaručil vysokou nosnost, malou hlučnost, prostorovou nenáročnost atd.. Záporně by byla ovlivněna rychlost pohybu a přesnost polohování.



Obr. 5-11



Obr. 5-12

6 Zhodnocení variant na základě hodnotové analýzy

Hodnotová analýza je účelně sestavený soubor metod, jehož smyslem je hledání a navrhování zlepšeného nebo v zásadě nového řešení analyzovaného objektu s cílem zvýšit jeho efektivitu. V podstatě je to rozhodovací proces, kde na základě určitých kritérií s přiřazenou mírou důležitosti porovnáváme a hodnotíme dané výrobky. Z těch pak podle výsledků vybereme nejlépe vyhovující daným kritériím.

Hodnocení sestává s následujících po sobě jdoucích kroků:

1. Volba hlavních kritérií
2. Zhodnocení vybraných kritérií
3. Volba bodovací stupnice
4. Přiřazení faktorů významnosti
5. Obodování jednotlivých variant
6. Výběr optimální varianty
7. Zhodnocení

1. Volba hlavních kritérií

Označení kritéria	Kriterium	Charakteristika kriteria
K1	Hmotnost	Hmotnost konstrukce
K2	Nosnost	Nosnost manipulátoru
K3	Dosah ramene	Velikost maximálního fyzického dosahu ramene od základu
K4	Konstrukce	Důraz na jednoduchost konstrukce, výrobní jednoduchost
K5	Počet stupňů volnosti	Počet stupňů volnosti manipulátoru
K6	Minimální vnější rozměry	Požadavek na minimalizaci vnějších rozměrů

Tabulka 6-1

2. Zhodnocení vybraných kritérií

kriterium		Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
K1-	Hmotnost	15,7 kg	20,7 kg	54,5 kg	6,4 kg
K2-	Nosnost	Vysoká	Střední	Střední	Vysoká
K3-	Dosah ramene	760 mm	1170 mm	1058 mm	460 mm
K4-	Konstrukce	Složitě	Středně složitě	Velmi složitě, výrobně náročné	Jednoduché
K5-	Počet stupňů volnosti	1° (3°)	2° (4°)	3° (5°)	1° (3°)
K6-	Minimální vnější rozměry	Velké	Střední	Velké	Malé

Tabulka 6-2

3. Volba bodovací stupnice

Hodnoty kritérií	Označení
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tabulka 6-3

4. Přiřazení faktorů významnosti

Pro váhu významnosti „q“ byla zvolena lineární závislost.

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75$$

Porovnávané páry kriterií					Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
K1 K2	K1 K3	K1 K4	K1 K5	K1 K6	0,5	5, 6	0,875
					-	-	-
	K2 K3	K2 K4	K2 K5	K2 K6	0,5	5, 6	0,875
					-	-	-
		K3 K4	K3 K5	K3 K6	3	3, 4	1,5
					-	-	-
			K4 K5	K4 K6	4	1, 2	1,75
					-	-	-
				K5 K6	4	1, 2	1,75
					3	3, 4	1,5

Tabulka 6-4

5. Obodování jednotlivých variant

Kriterium	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
K1	5	4	2	6
K2	6	5	5	6
K3	4	6	6	3
K4	4	5	2	6
K5	4	5	6	4
K6	3	5	3	6

Tabulka 6-5

6. Zhodnocení a výběr optimální varianty

Kriterium	Varianta 1		
	Hodnota	Váha významnosti kriterií q	Vážený index kriterií I_{ij}^*
K1	5	0,875	4,375
K2	6	0,875	5,25
K3	4	1,5	6
K4	4	1,75	7
K5	4	1,75	7
K6	3	1,5	4,5
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty 1			34,125

Tabulka 6-6

Kriterium	Varianta 2		
	Hodnota	Váha významnosti kriterií q	Vážený index kriterií I_{ij}^*
K1	4	0,875	3,5
K2	5	0,875	4,375
K3	6	1,5	9
K4	5	1,75	8,75
K5	5	1,75	8,75
K6	5	1,5	7,5
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty 2			41,875

Tabulka 6-7

Kriterium	Varianta 3		
	Hodnota	Váha významnosti kriterií q	Vážený index kriterií I_{ij}^*
K1	2	0,875	1,75
K2	5	0,875	4,375
K3	6	1,5	9
K4	2	1,75	3,5
K5	6	1,75	10,5
K6	3	1,5	4,5
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty 3			33,625

Tabulka 6-8

Kriterium	Varianta 4		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria I_{ij}^*
K1	6	0,875	5,25
K2	6	0,875	5,25
K3	3	1,5	4,5
K4	6	1,75	10,5
K5	4	1,75	7
K6	6	1,5	9
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty 4			41,5

Tabulka 6-9

7. Zhodnocení

Varianta	Celkový součet vážených indexů I_{ij}^*
1	34,125
2	41,875
3	33,625
4	41,5

Tabulka 6-10

Dle hodnotové analýzy vyšla jako optimální varianta č. 2.

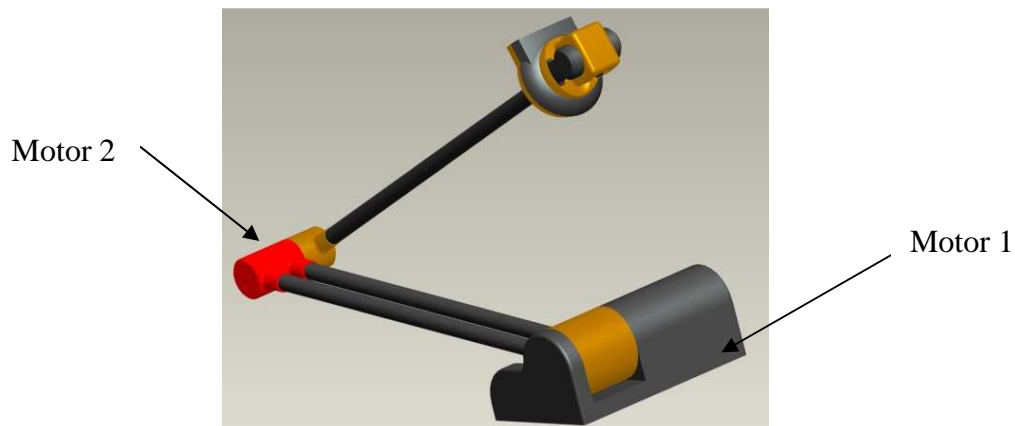
Po konzultaci s vedoucím práce bylo potřeba analýzu rozšířit ještě o jeden parametr a to o cenu, která je při předpokladu realizace konstrukce velmi podstatná. Z hlediska ceny budou v konstrukci největší roli hrát aplikované pohony. Proto musíme provést další analýzu pro výběr pohonů.

Výběr pohonu

Jak vyplývá z optimální varianty 2 jsou dva motory umístěné postupně v základu a dále na konci ramene 1. Jedná se pokaždé o jednotku s DC motorem ($M_{\min} = 1.5 \text{ Nm}$), převodovkou, čidlem polohy a brzdou.

Druhým možným řešením této varianty je aplikace lineárních aktuátorů mezi klouby a to tak, že mezi základ a rameno 1 budou umístěny dva pohony a mezi ramena 1 a 2 jeden pohon.

1. Variant s elektromotory



Obr. 4-2

Př.: Vhodná pohonná jednotka MAXON

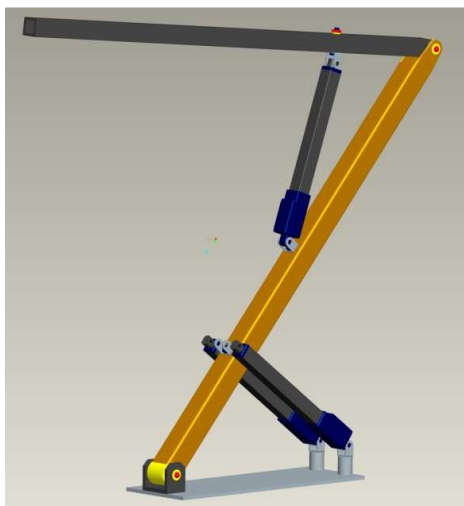
1. Transformační blok	- 100 USD	1970 Kč
2. Motor	- 150 USD	2955 Kč
3. Brzda	- 400 USD	7880 Kč
4. Čidlo polohy	- 100 USD	1970 Kč
Dohromady	- 750 USD	14775 Kč

Tato cena udává pouze hodnotu jedné motorové jednotky. Jak z obrázku vyplývá, budeme potřebovat dvě takovéto jednotky.

Celkem: 2 x 750 USD..... **29 550 Kč**

Hmotnost takovéto jednotky se pohybuje v rozsahu 500 – 700 g. Rozsah pohybů v obou kloubech je omezen pouze konstrukcí manipulátoru.

2. Varianta s lineárními aktuátory



Obr. 4-2

Př.: Vhodný lineární miniaktuátor Firgelli

1. Miniature Linear Motion Series • L12	- 90 USD	1733 Kč
---	----------	----------------

Opět je uvedená cena platná pouze za jeden aktuátor a jak jde vyčíst z obrázku, budou potřeba tři.

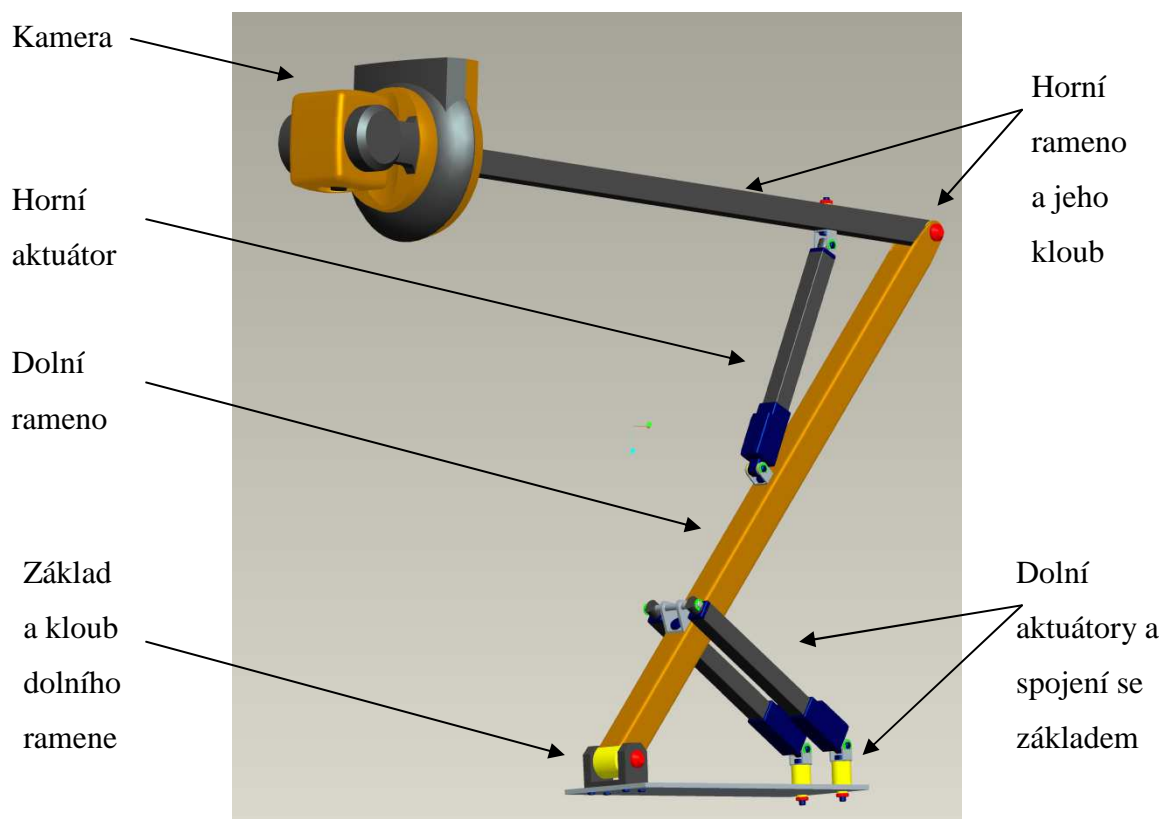
Celkem: 3 x 90 USD.....**5319 Kč**

Hmotnost jednoho aktuátoru se pohybuje v rozmezí 28 - 56 g a maximální zdvih je od 10 – 100 mm. Rozsah pohybů obou ramen bude tedy záležet na volbě optimálního převodového poměru (umístění aktuátorů vzhledem k základu a ramenům), který si určíme pomocí aplikace Mechanism programu ProEngineer.

Z tohoto srovnání vyplývá, že cenově výhodnější bude řešení varianty 2. s lineárními aktuátory. Aktuátory budou díky své menší hmotnosti vhodnější také z hlediska dynamických zatížení, což umožní zmenšení průřezu ramen a také volbu levnějších a lehčích materiálů. Nevýhodou bude pouze menší pracovní prostor.

Volím řešení č.2. – s lineárními aktuátory

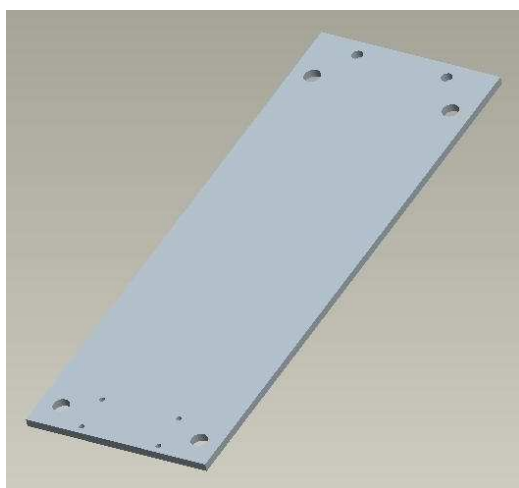
7 Popis konstrukce manipulátoru



Obr. 7-1

Konstrukce manipulátoru

7.1 Konstrukce

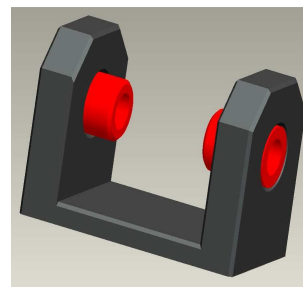


Obr. 7-2

Základová deska

Manipulátor bude stát na podstavné desce, která bude vyrobena 2,8 mm tlustého plechu oceli o rozměrech 70x250 mm a k rámu podvozku bude přimontována šrouby M6 v přední a v zadní části (na obr. 5-2 díry s největším průměrem). Dále jsou do tohoto kusu plechu v přední části vyvrtány díry pro upevnění základu (obr. 5-2 – dole 4x) a díry pro upevnění podstavných válců pohonů dolního ramene (Obr. 5-2 nahoře 2x).

Základ pro uchycení kloubu prvního ramene tvaru U je ze dvou stran provrtán tak, aby se do něj následně vložil čep, který bude zajišťovat polohu kloubu. Podstavné válce (obr. 5-4) a tělo kloubu dolního ramene (obr. 5-5 žlutě) jsou vyrobeny z plastu. Prodloužená část těla kloubu slouží k vlepení do profilu dolního ramene a tím k vytvoření nerozebíratelného spojení mezi těmito součástmi. Do jeho válcové části jsou vložena dvě ložiska SKF,

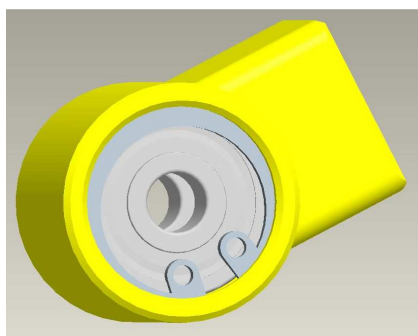


Obr. 7-3
Základ

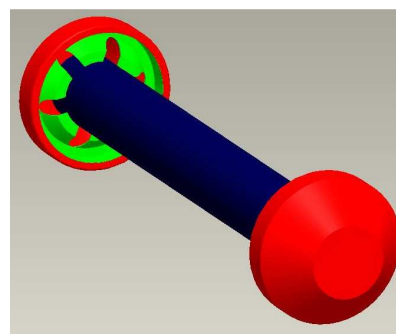
která jsou proti vypadnutí z každé strany zajištěna pojistnými kroužky ČSN. Proti axiálnímu posuvu kloubu v základu jsou z každé strany vloženy ještě plastové rozpěrné kroužky (obr. 5-3 červeně). Čep, který bude držet kloub v poloze a zajišťovat jeho rotaci, bude pojištěn systémem starlock (obr. 5-6), jež jej bezpečně zachytí proti vypadnutí.



Obr. 7-4
Podstavné válce

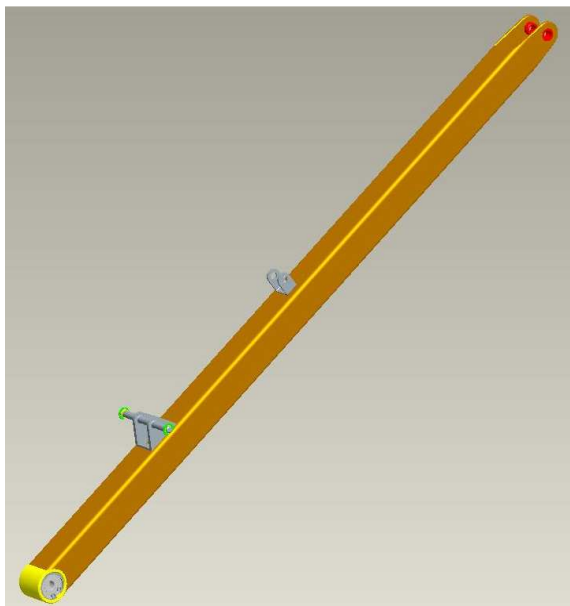


Obr. 7-5
Kloub s ložisky a poj.kroužkem

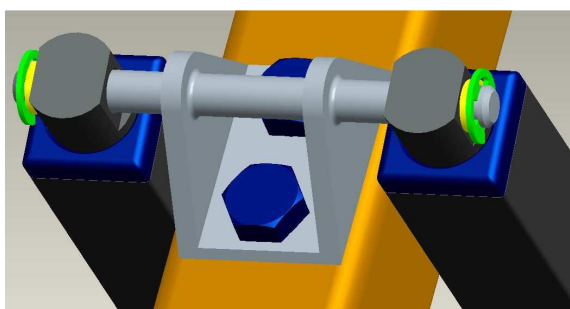
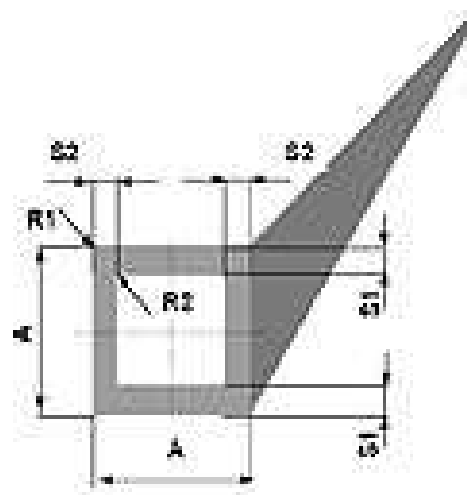


Obr. 7-6
Čep se systémem starlock

Profil dolního ramene (obr. 5-8) je navržen s důrazem na redukci hmotnosti a tím dosáhnout snížení zátěžných sil aktuátorů. Vybral jsem čtvercové hliníkové profily (AW-6060 - AlMgSi). Spojení pohonů s ramenem je zajištěno pomocí hliníkového domku s dírou (obr. 5-8), do které je přivařen čep s drážkami pro třmenové kroužky. Tvar tyče aktuátoru však nedovoluje, aby jí kroužek na čepu mohl jistit přímo, proto je mezi tyto dva členy vložen malý plastový rozpěrný kroužek. Domek je přišroubován dvěma šrouby (k zachycení rotace) skrz rameno. Ostatní konce aktuátorů jsou zajištěny U-spojku dodávanou s motorem. U-spojky jsou přišroubované k ramenům stejným způsobem pouze s tím rozdílem, že mají již jenom jednu díru pro uchycení.



Obr. 7-7
Spodní rameno



Obr. 7-8
Připojení spodních pístnic

Rameno 1:

$A = 20 \text{ mm}$

$S1 = 2 \text{ mm}$

$S2 = 2 \text{ mm}$

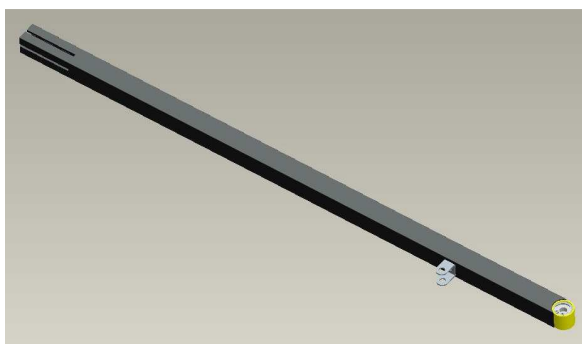
$R = 0,3 \text{ mm}$

$m = 0,39 \text{ kg/m}$

$W_x = 787,82 \text{ mm}^3 \dots$ Průřezový modul

$I_x = 7872,67 \text{ mm}^4 \dots$ Moment setrvačnosti

Horní rameno (obr. 7-9) a kloubové uchycení jsou konstrukčně i materiálově řešeny obdobně jako spojení spodního ramene se základem. Profil ramene je však menší a k tomu je nutné také úměrně zmenšit i kloub s ložisky SKF, pojistné kroužky, čep a systém starlock.



Obr. 7-9
Horní rameno

Rameno 2:

$A = 15 \text{ mm}$

$S1 = 2 \text{ mm}$

$S2 = 2 \text{ mm}$

$R = 0,3 \text{ mm}$

$m = 0,28 \text{ kg/m}$

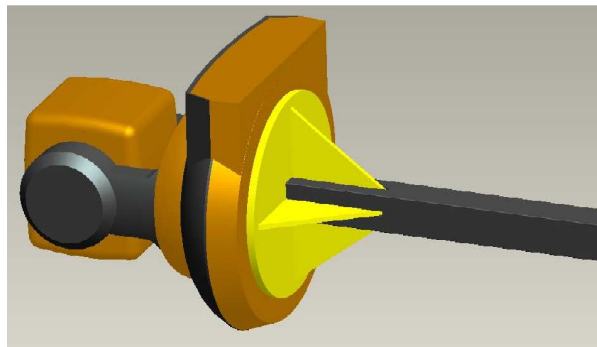
$W_x = 399,82 \text{ mm}^3 \dots$ Průřezový modul

$I_x = 2998,67 \text{ mm}^4 \dots$ Moment setrvačnosti

V rameni jsou vyvrtané díry k uchycení pístnic a oba konce profilu upraveny tak, aby se k nim daly připojit související části. Kamera je k ramenu přichycena přes plastový mezikus s žebrováním a připojovací plochou. Ta je upravena tak, že její drážky pasují do drážek na spodu kamery. Mezikus bude stejně jako oba klouby vlepen dovnitř profilu ramene. Veškeré plastové součásti budou vyráběny pomocí technologie rapidprototyping.



Obr. 7-10
Kamera



Obr. 7-11
Připojení kamery

7.2 Pohony

Příslušný typ lineárního motoru byl vyhledán tak, aby jeho velikost, hmotnost a zátěžná síla vyhovovala rozměrům manipulátoru a zbytečně nezvětšovala příčný průřez celého mechanismu. Motory se dodávají v několika provedeních z hlediska převodů a velikosti zdvihů.

Specifikace motorů značky Firgelli:

1. Výběr ze tří různých převodových poměrů. Se zvyšujícím se poměrem roste maximální zátěžná síla a zároveň klesá rychlost výsunu.

možnost převodu	50	100	210
bod maximálního výkonu	12 N @ 11 mm/s	23 N @ 6 mm/s	45 N @ 2,5 mm/s
bod maximální účinnosti	6 N @ 16 mm/s	12 N @ 8 mm/s	18 N @ 4 mm/s
maximální rychlost (bez zatížení)	23 mm/s	12 mm/s	5 mm/s
zpětná síla ²	43 N	80 N	150 N

²...vypnutý aktuátor staticky udrží sílu o velikosti zpětné síly

Výrobce zaručuje, že síla v tahu = síla v tlaku

2. Výběr ze čtyř velikostí aktuátorů (s rostoucí velikostí zdvihu roste hmotnost zařízení a zároveň klesá přesnost polohování).

zdvih	10 mm	30 mm	50 mm	100 mm
hmotnost	28 g	34 g	40 g	56 g
přesnost polohování	0,1 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,3 mm
maximální radiální síla (při plném zdvihu)	50 N	40 N	30 N	15 N

3. Napájecí proud je stejný u všech variant motorů.

napájecí proud/napětí	450 mA @ 5V & 6V; 200 mA @ 12 V
-----------------------	---------------------------------

Zdvih

S ohledem na malou hmotnost konstrukce a tím pádem i malé radiální síly působící na tyč aktuátoru, volíme maximální délku výsunu - 100 mm. Při vhodné volbě převodové funkce tak dosáhneme maximálního rozsahu pohybu ramen.

Převodový poměr

Volba vhodného převodu v tomto případě spočívá především na optimálním umístění pohonů. Pomocí daných dynamických analýz programu ProEngineer zjistím průběhy zatížení všech aktuátorů ve všech možných polohách. Kritické polohy (polohy s největším zatížením) ověříme ručním výpočtem.

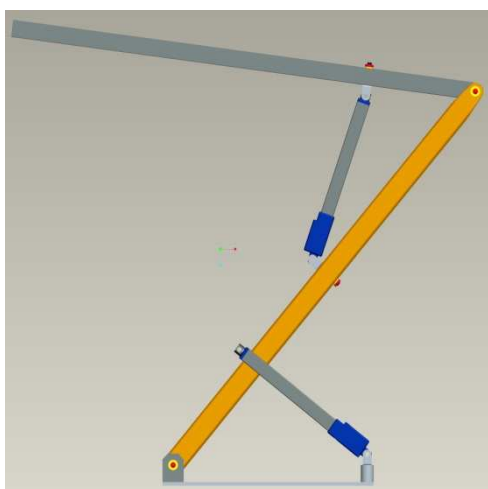
Výběr převodového poměru

Pro návrh převodového poměru motoru je rozhodující síla působící v ose tyče aktuátoru. Je tedy nutné optimalizovat umístění pohonů vzhledem k ramenu. Zároveň musíme uvažovat, že s větší působící silou bude zapotřebí většího převodového poměru a tím klesne rychlost polohování.

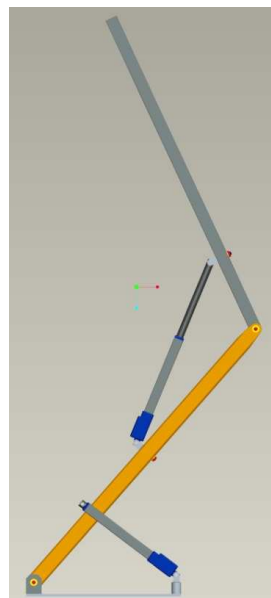
8 Návrh umístění pohonů

8.1 Analýza pro horní pohon (dále jen PH):

Analýza pohybu z polohy A do polohy B

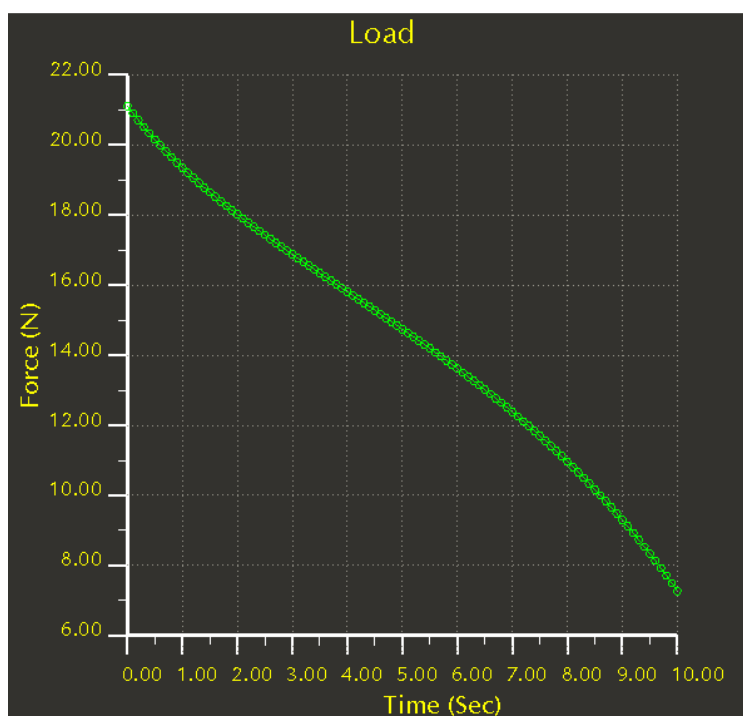


Obr. 6-1
Poloha A



Obr. 6-2
Poloha B

Zatížení:



Graf 6-1
Zatížení PH A-B

Hodnota síly, kterou musí pohon vyvinout při konstantní rychlosti 10 mm/s.

Maximální:

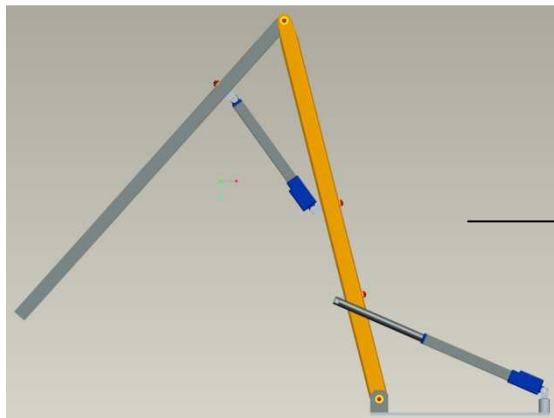
$t=0 \text{ s} \dots F_{PH\max}=21,13 \text{ N}$

Minimální:

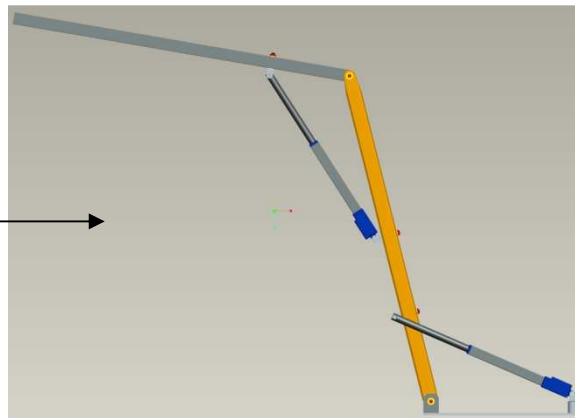
$t=10 \text{ s} \dots F_{PH\min}=7,27 \text{ N}$

Zatížení s větším vysunutím klesá. Moment síly, vzniklý od kamery a hmotnosti ramene působící proti pohybu PH, klesá, čím víc je horní rameno vyklopené vzhůru.

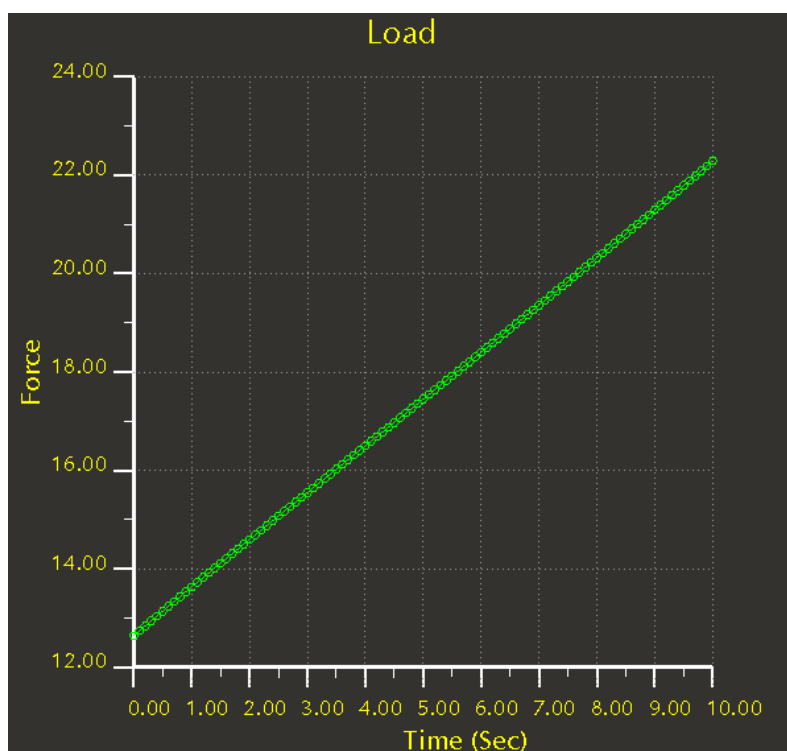
Analýza pohybu z polohy A do polohy B



Obr. 6-3
Poloha C



Obr. 6-4
Poloha D



Graf 6-2
Zatížení PH C-D

Hodnota síly, kterou musí pohon vyvinout při konstantní rychlosti 10 mm/s.

Maximální:

$$t=10 \text{ s} \dots F_{PH\max} = 22,28 \text{ N}$$

Minimální:

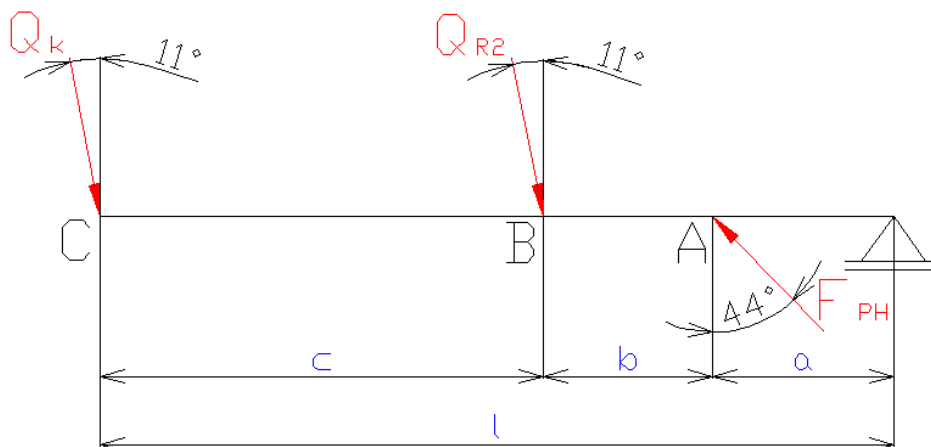
$$t=0 \text{ s} \dots F_{PH\min} = 12,64 \text{ N}$$

Při stejné úvaze jako v předešlém případě můžeme zhodnotit, že v reálné situaci by zatížení PH probíhalo stejně. Avšak, pro tento případ je potřeba ověřit, zdali toto platí,

jelikož analýza v programu ProEngineer proběhla s redundancí 1. To by mohlo způsobit jistou chybu ve výpočtu.

Bude stačit ověřit pouze případ, ve kterém byl aktuátor namáhán nejvíce. Tato situace nastala při pohybu z polohy C do D.

Kontrola analýzy PH pro polohu D (poloha s maximální vypočtenou silou):



Obr. 6-5

$m_K = 0,279 \text{ kg}$hmotnost kamery	$a = 100 \text{ mm}$	$c = 277 \text{ mm}$
$m_{R2} = 0,129 \text{ kg}$hmotnost ramene 2	$b = 119 \text{ mm}$	$l = 504,5 \text{ mm}$
	$\alpha = 11,03^\circ$	$\beta = 44,76^\circ$

$$Q_K = m_K \cdot g = 0,279 \cdot 9,806 = 2,73 \text{ N} \dots\dots\dots \text{síla od kamery}$$

$$Q_{R2} = m_{R2} \cdot g = 0,129 \cdot 9,806 = 1,26 \text{ N} \dots\dots\dots \text{síla od ramene}$$

$$Q_K \cdot \cos(\alpha) \cdot l + Q_{R2} \cdot \cos(\alpha) \cdot (b + a) = F_{PHmax} \cdot \cos(\beta) \cdot a$$

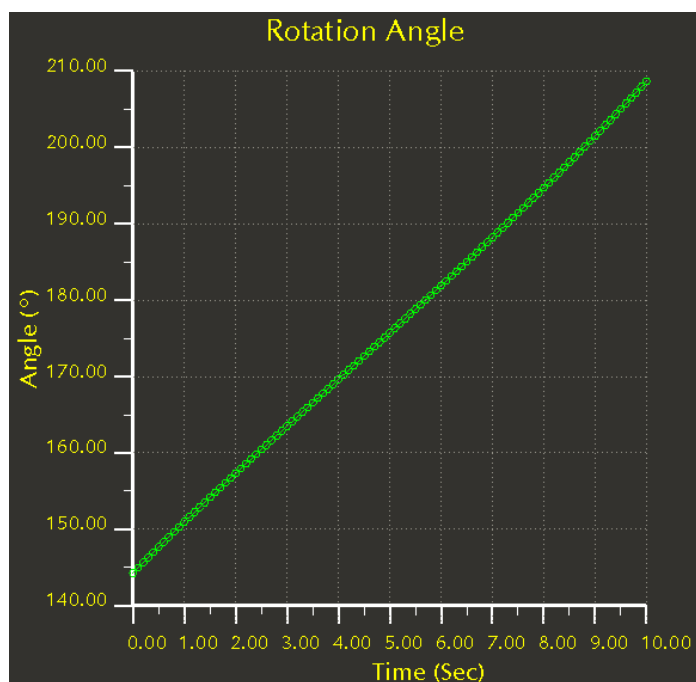
$$\frac{Q_K \cdot \cos(\alpha) \cdot l + Q_{R2} \cdot \cos(\alpha) \cdot (b + a)}{\cos(\beta) \cdot a} = F_{PHmax}$$

$$\frac{2,73 \cdot \cos(11,03) \cdot 0,504 + 1,26 \cdot \cos(11,03) \cdot (0,119 + 0,1)}{\cos(44,76) \cdot 0,1} = F_{PHmax}$$

$$\underline{\underline{F_{PHmax} = 22.83 \text{ N}}}$$

Analýza proběhla správně. Odchylku ručního výpočtu mohla způsobit zaokrouhlovací chyba nebo nezapočítané zrychlení, které v průběhu analýzy dosahovalo zanedbatelných hodnot.

Maximální úhel natočení R2:



Graf 6-3

Celkový úhel otočení R2:

=====

Rameno se při zdvihu 100 mm otočí o $64,335^\circ$

Závislost úhlu natočení na zdvihu PH:

— ———— =====

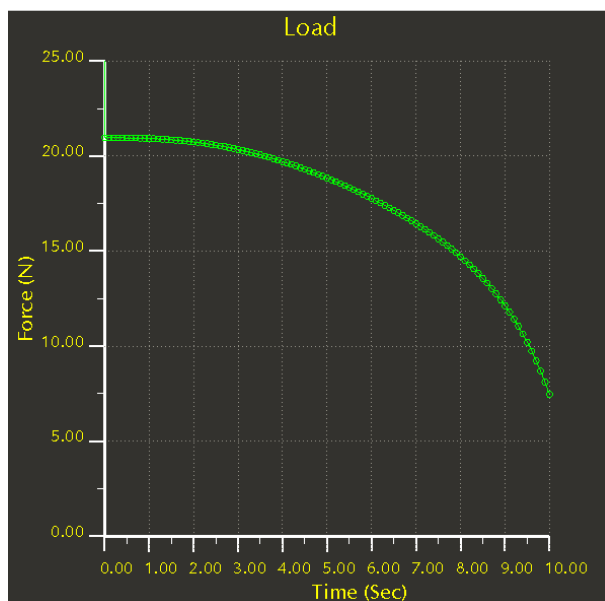
- Z toho vyplývá, že rameno 2 se otočí o $0,643^\circ$ při výsunu tyče o 1 mm.

Z předběžného výpočtu zatížení lze předpokládat, že na aktuátor PH bude působit maximální síla $F_{PHMAX} = 22,83$ N. Podle této síly vybíráme vhodný převodový poměr pro motor dle tabulky výrobce.

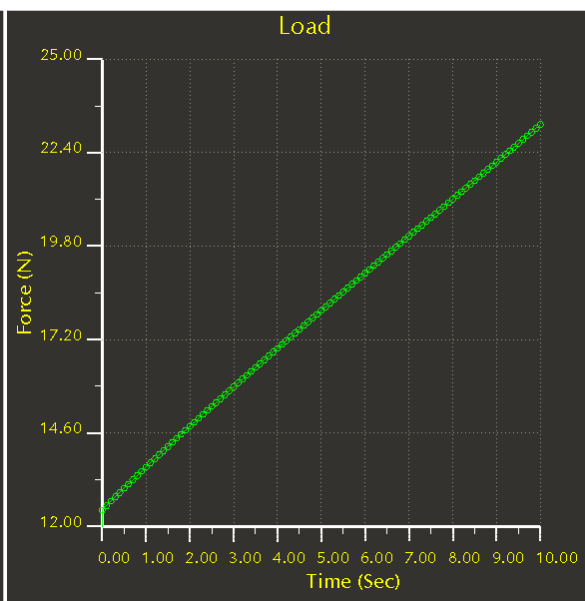
Aktuátor PH:

Převod:	100:1
Bod maximálního výkonu:	23 N @ 6 mm/s
Bod maximální účinnosti:	12 N @ 8 mm/s
Maximální rychlost (bez zatížení):	12 mm/s
Zpětná síla:	80 N
Zdvih:	100 mm
Hmotnost:	56 g
Přesnost polohování:	0,3

Musí se také počítat s jistým rozběhem motoru, a proto je třeba ještě provést pro vybrané motory analýzy se zrychlením. Při rychlostech motoru budou sice hodnoty zrychlení zanedbatelné, přesto ale můžou mírně ovlivnit zatížení aktuátoru.



Graf 6-4



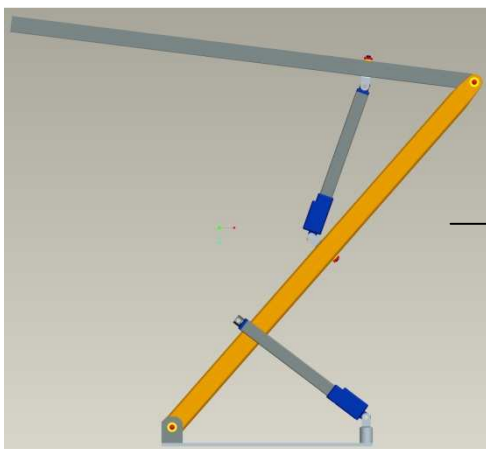
Graf 6-5

Zrychlení při rozběhu horního pohonu 2 mm/s neovlivnilo zatížení natolik, že by jej aktuátor nedokázal překonat. Síly působící na aktuátor nebudou přesahovat mezní hodnoty pro daný převod.

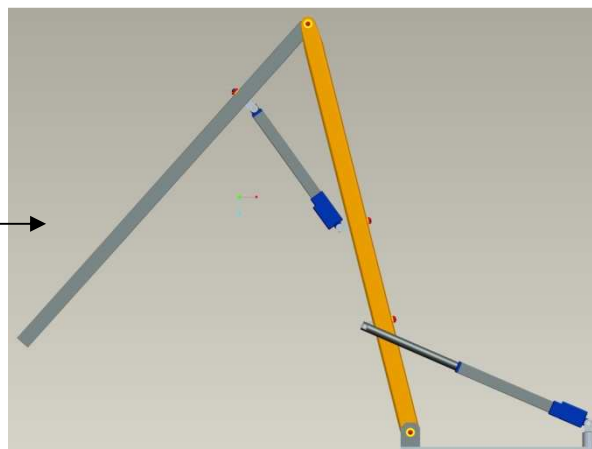
Aktuátor vyhovuje.

8.2 Analýza pro dolní pohon (dále jen PD):

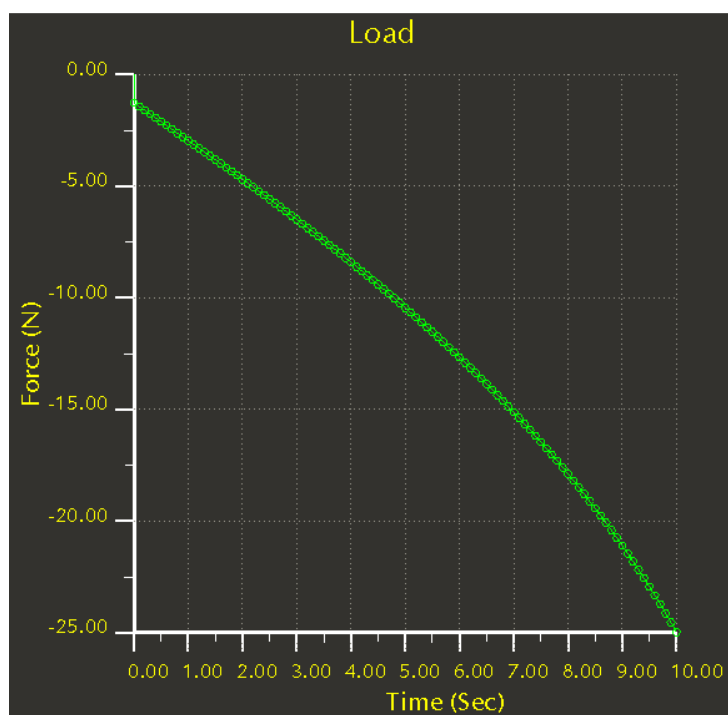
Analýza pohybu z polohy A do polohy C



Obr. 6-6
Poloha A



Obr. 6-7
Poloha C



Graf 6-6

Hodnota síly, kterou musí pohon vyvinout při konstantní rychlosti 10 mm/s.

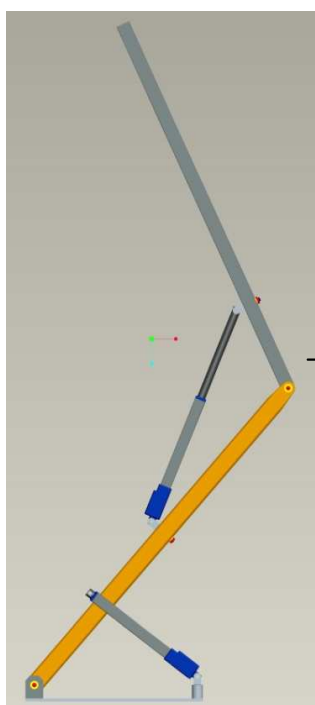
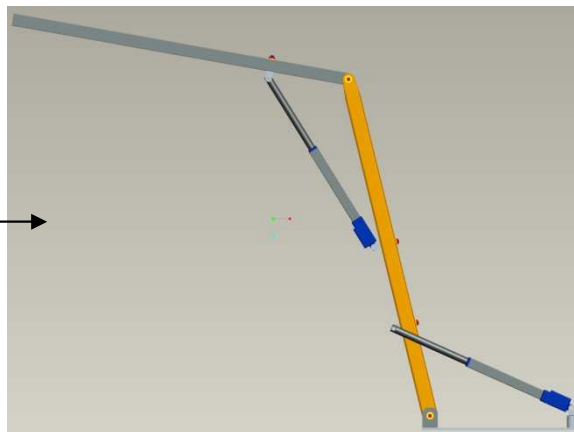
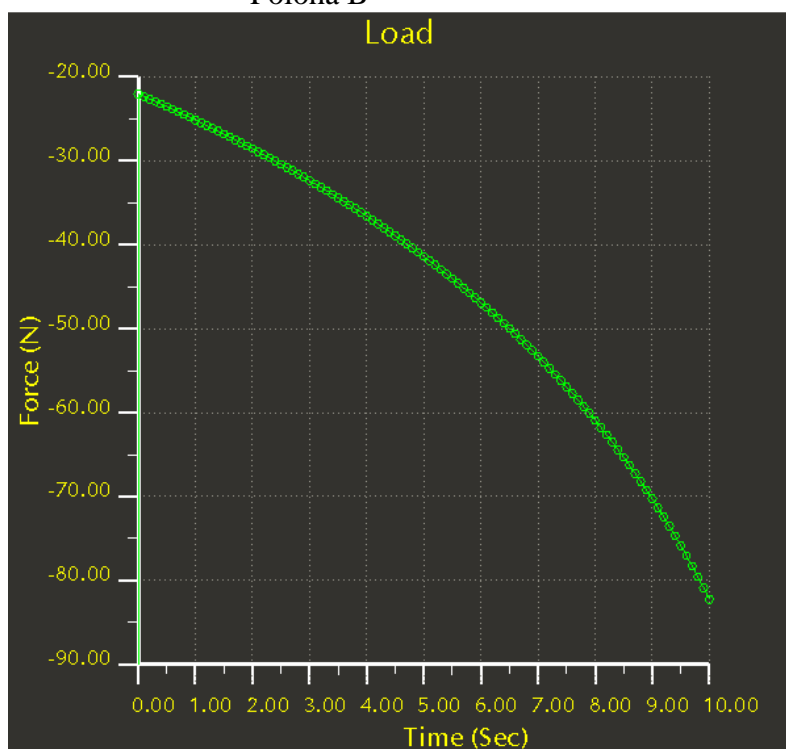
Maximální:

$$t=10 \text{ s} \dots F_{PD\max} = -24,97 \text{ N}$$

Minimální:

$$t=0 \text{ s} \dots F_{PD\min} = -1,27 \text{ N}$$

Síla vyvinutá aktuátorem opět s časem roste a dostává se do záporných hodnot. To znamená, že v tomto případě nemusí vyvíjet tlak k vyklopení ramene, nýbrž ho musí brzdit tahem zpět.

Analýza pohybu z polohy B do polohy DObr. 6-8
Poloha BObr. 6-9
Poloha D

Graf 6-7

Hodnota síly, kterou musí pohon vyvinout při konstantní rychlosti 10 mm/s.

Maximální:

$t=10 \text{ s} \dots F_{PD\max} = -82,24 \text{ N}$

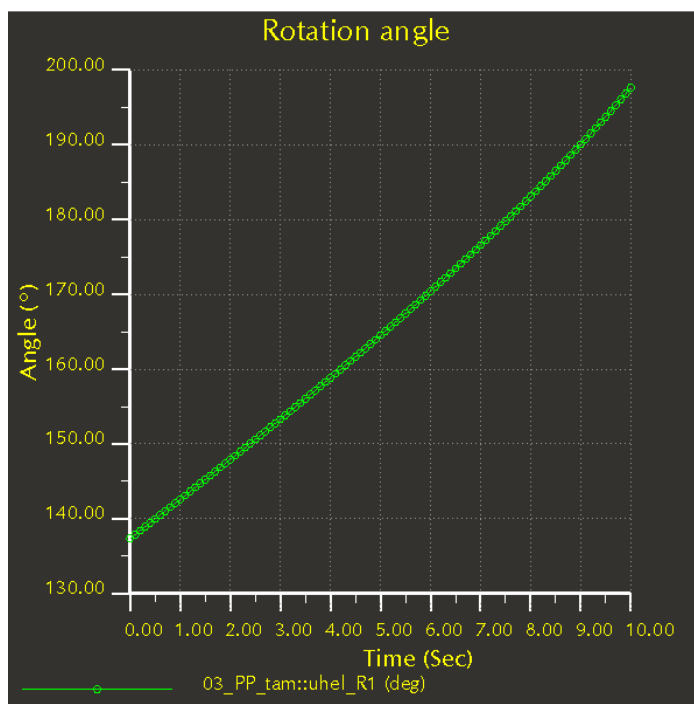
Minimální:

$t=0 \text{ s} \dots F_{PD\min} = -22,06 \text{ N}$

Z výsledků vyplývá, že na PD působí maximální síla v poloze D, tedy v nejvíce nataženém stavu a to -82,24 N. Analýza proběhla s nulovou redundancí, a proto lze předpokládat, že výsledné údaje jsou správné. Maximální hodnota zatížení ale přesahuje

možnou sílu vyvinutou jedním aktuátorem při maximálním převodovém poměru (viz kapitola 5.2 motory). Do tohoto kloubu bude tedy nutno umístit pohon s adekvátní silou. V tomto případě byla zvolena varianta, kdy mezi základ a rameno byly vloženy dva aktuátory se stejným převodovým poměrem. To umožnilo výsledné zatížení rozdělit na dvě stejné složky.

Maximální úhel natočení R1:



Graf 6-8

Celkový úhel otočení R1:

$$\varphi_{t0} = 137,366^{\circ} \quad \varphi_{t10} = 197,62^{\circ} \quad \underline{\underline{\varphi_{R1} = 60,254^{\circ}}}$$

Rameno se při zdvihu 100 mm otočí o $60,254^{\circ}$

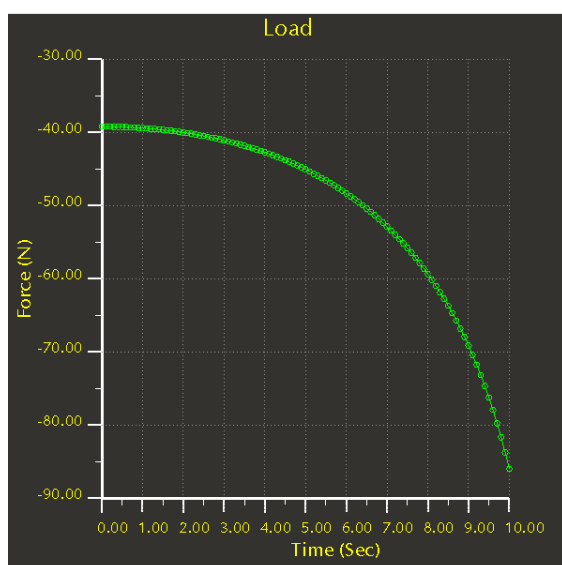
Závislost úhlu natočení na zdvihu PD:

$$\varphi_1 = \frac{\alpha_{R2}}{100} = \frac{60,254}{100} = \underline{\underline{0,603^{\circ}}}$$

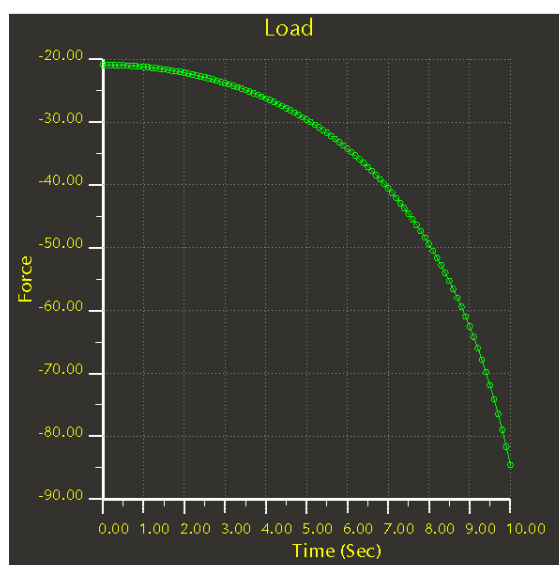
- Z toho vyplývá, že rameno 2 se otočí o $0,643^{\circ}$ při výsunu tyče o 1 mm.

Aktuátor PD:

Převod	210:1
Bod maximálního výkonu:	45 N @ 2.5 mm/s
Bod maximální účinnosti:	18 N @ 4 mm/s
Maximální rychlost (bez zatížení):	5 mm/s
Zpětná síla:	150 N
Zdvih:	100 mm
Hmotnost:	56 g
Přesnost polohování:	0,3



Graf 6-9



Graf 6-10

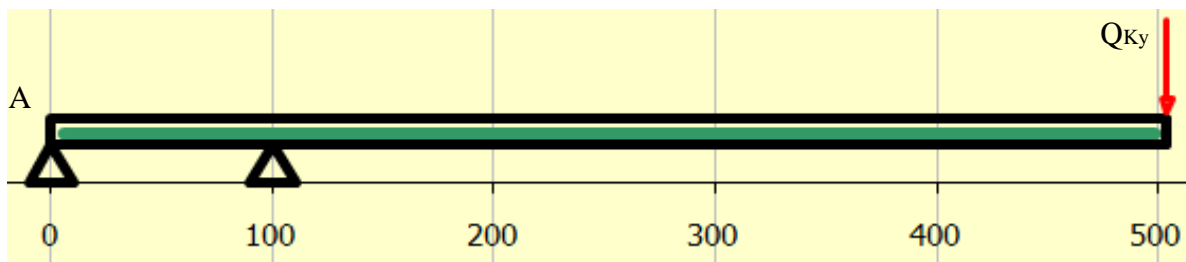
Také aktuátory pro pohon spodního ramene vyhovují i po přidání zrychlení 2 mm/s do analýzy.

Aktuátory vyhovují

9 Kontrola profilů ramen

Výpočet zatížení a průhybů ramen stanovíme v obecné poloze manipulátoru. Průhyb by neměl být větší, než je udán v požadavkovém listu.

Analýza ramena 2 (horního ramene)

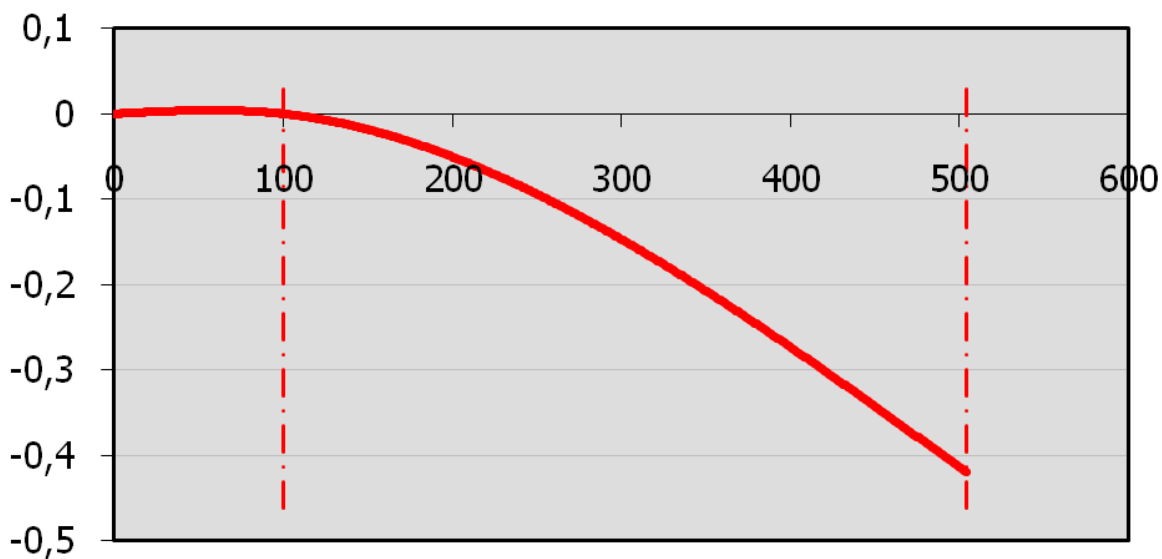


Obr. 7-1
Schéma zatížení horního ramene

$$Q_{Ky} = Q_K \cdot \cos \alpha = 2,71 \text{ N} \dots\dots\dots \text{kde } \alpha = 5,7^\circ$$

Samotný výpočet průhybu ramene byl proveden v programu mitcalc. Pro horní rameno bylo nutné spočítat pouze gravitační sílu kamery na konci ramene a příslušně úhly, pod kterými působí. Zbylé síly působící na rameno (např. gravitační sílu ramene Q_{R2y}) si mitcalc při správném zadání hustoty materiálu a profilu ramene dopočte.

Průhyb ramene 2:



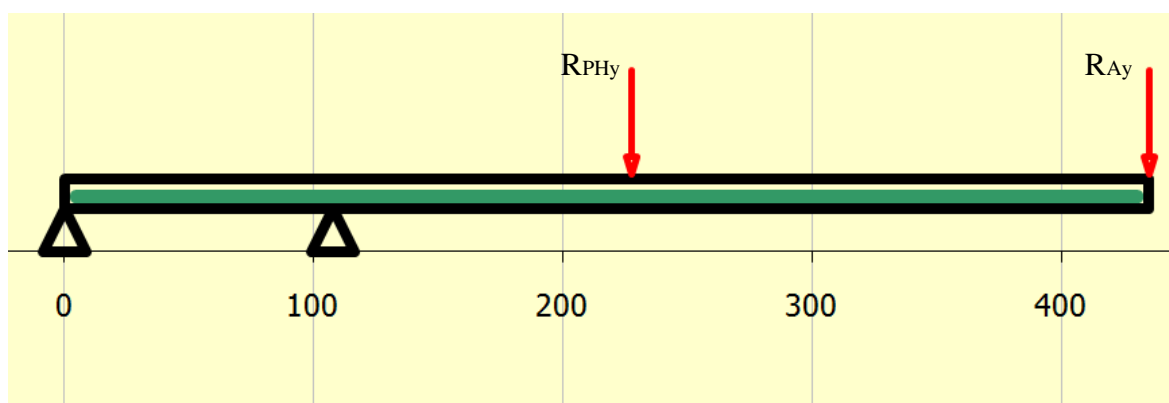
Graf 7-1

Z grafu vyplývá, že největší průhyb ramene nastane na jeho konci zatíženém kamerou a bude dosahovat hodnoty 0,42 mm. Nezanedbatelný je také průhyb mezi podporami, reálně tedy mezi kloubem R2 a kloubem horního aktuátoru.

Průhyb 0,42 mm vyhovuje

Analýza ramene 1 (dolního ramene)

Pro průhyb ramene 1 bylo potřeba spočítat reakce vznikající připojením horního ramene v kloubu R_{Ay} a příslušnou složku síly vznikající působením horního aktuátoru pod úhlem R_{PHy} .



Obr. 7-2
Průhyb dolního ramene

$$R_{PHy} = F_{PH} \cdot \cos \delta = 16,43 \text{ N}$$

$$Q_{R2y} = Q_{R2} \cdot \alpha = 1,25 \text{ N}$$

$$Q_{Ky} = Q_K \cdot \cos \alpha = 2,71 \text{ N}$$

$$R_{PHx} = F_{PH} \cdot \sin \delta = 6,33 \text{ N}$$

$$Q_{R2x} = Q_{R2} \cdot \sin \alpha = 0,125 \text{ N}$$

$$Q_{Kx} = Q_K \cdot \sin \alpha = 0,27 \text{ N}$$

kde $\delta = 21,5^\circ$, $\alpha = 5,7^\circ$ úhly změřeny v ProEngineeru

R_A :

$$F_{PH} = \frac{Q_{R2y} \cdot (a + b) - Q_{Ky} \cdot (l)}{\cos \delta \cdot a} = \frac{1,25 \cdot 0,219 + 2,71 \cdot 0,504}{\cos 21,5} = \underline{\underline{17,6 \text{ N} \cdot \text{m}}}$$

$$R_{Ay} = Q_{R2y} + Q_{Ky} - F_{PHy} = 1,25 + 2,71 - 16,43 = -12,466 \text{ N}$$

$$R_{Ax} = Q_{R2x} + Q_{Kx} - F_{PHx} = 0,125 + 0,27 + 6,33 = 6,8 \text{ N}$$

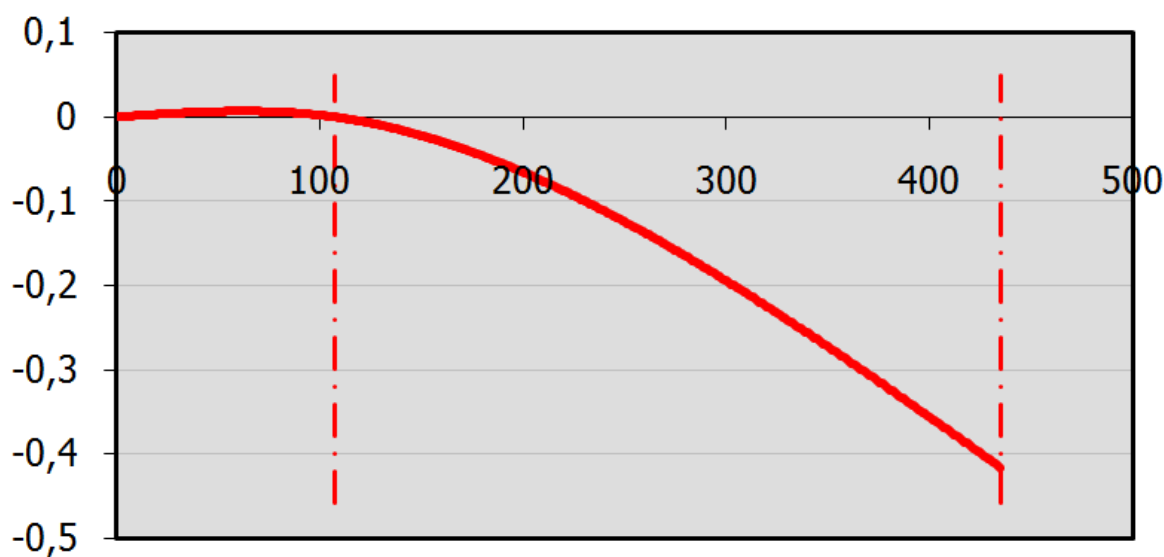
$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} = \sqrt{46,2 + 155,4} = 14,2 \text{ N}$$

$$\cos \varepsilon = \frac{R_{Ay}}{R_A} = \frac{12,4}{14,2} \rightarrow \varepsilon = 28,61^\circ \dots \dots \dots \text{úhel natočení } R_A \text{ - vůči ramenu 1}$$

$$R_{Ay} = R_A \cdot \cos \varepsilon = 13,42 \text{ N}$$

Opět využijeme mitalcu k výpočtu průhybu

Průhyb ramene 1:



Graf 7-2

Podmínky pro obě ramena se téměř shodují. Proto i průběhy průhybů se od sebe příliš neodlišují.

Průhyb 0,41 mm vyhovuje

10 Ekonomické zhodnocení

Pohony	cca 6000 Kč	(v ceně je poštovné a U-spojky pro aktuátory)
Hliníkové součásti	cca 100 Kč	(2x hliníkový profil a 2x plech o tloušťce 3 a 60 mm - celková hmotnost 600 g)
Ocelové součásti	cca 100 Kč	
Plastové součásti	cca 2000 Kč	(při ceně 40 Kč – 1 cm ³ a 200 Kč/hod pracovního času)
Šrouby, matice, podložky, čepy, pojistné kroužky	cca 200 Kč	
Starlock	cca 100 Kč	4 ks
Ložiska SKF	cca 400 Kč	4 ks
Kamera IP Edimax 7000 Pt	cca 5100 Kč	
<hr/>		
<u>celkem</u>	<u>cca 14000 Kč</u>	

11 Závěr

Navržený manipulační subsystém průzkumného robotu je určen pro venkovní i vnitřní použití.

První část bakalářské práce se zabývá zhodnocením současné nabídky pohonů, kamer a servisních robotů s manipulátory. Byly vytvořeny variantní řešení, ze kterých byla pomocí hodnotové analýzy vybrána optimální varianta.

Druhou část práce tvoří návrh pohonů, konstrukce kloubu, kontrola ramen na ohyb a jejich spojení s aktuátory. Největším problémem bylo navrhnout optimální polohu aktuátorů vůči ramenům tak, aby na ně působila co nejmenší zátěžná síla, ale pracovní prostor zůstal dostatečně velký.

V budoucnu by se ke zdokonalení konstrukce mohlo použít lehčích a tvrdších slitin kovů při návrhu ramen, čímž se sníží jejich hmotnost a zároveň i sníží zatížení na aktuátorech.

Navržený manipulátor vyhovuje určeným požadavkům v bakalářské práci.

12 Použitá literatura

- [1] VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky, 2. doplněné vydání*, algebra, 2005, 901 str. ISBN 80-7361-011-6
- [2] SKAŘUPA, J.: *Průmyslové roboty a manipulátory*, Ediční středisko VŠB-TUO, 2007, 221 str. ISBN 978-80-2481522-0
- [3] KLETEČKA, J. – FOŘT, P.: *Technické kreslení*, Computer Press, 2007, 247 str. ISBN 978-80-251-1887-0
- [4] KONEČNÝ, Z.: *Základy technické dokumentace 1.vyd.*, Ediční středisko VŠB-TUO, 2003. 84 str. ISBN 80-248-0514-6.
- [5] SKAŘUPA, J.: *Metodika konstruování 1. vyd.*, Ediční středisko VŠB-TUO, 1993. 149 str. ISBN 80-7078-167-x
- [6] www.alfacomp.cz
- [7] <http://www.itechnews.net/wp-content/uploads/2008/04/toshiba-ik-hd1-smallest-hdtv-camera-head.jpg>
- [8] http://blog.ieba.com/wp-content/uploads/2009/07/CVX-V18NXsize_6319.jpg
- [9] <http://www.engadget.com/2006/09/22/intelligent-wheelchair-helps-you-avoid-hazards/>
- [10] <http://www.abledata.com/abledata.cfm?pageid=19327&top=11427&deep=1&trail=22,11316,11404,11424>
- [11] <http://www.slashgear.com/wifi-robot-gets-to-grips-with-security-202546/#entrycontent>
- [12] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/5324708.stm>
- [13] <http://www.militaryaerospace.com/index/display/article-display/208448/articles/military-aerospace-electronics/volume-15/issue-7/electro-optics-supplement/makers-of-ground-robots-ask-for-better-sensors-and-communication-links.html>
- [14] http://www.antiterrorism.eu/pyrotechnical_robot.php
- [15] http://www.inrobtech.com/ProductsSolutions_Cat1_Prd4.asp
- [16] <http://defense-update.com/products/f/foxbot.htm>
- [17] <http://www.pedsco.com/products-rmi10f.php>
- [18] http://east.trexpo.com/t_inside.cfm?action=attendee&s_id=9050131
- [19] <http://www.theyearindefence.com>
- [20] http://shop.svida.cz/images/ac_motor_16_25.jpg

[21] <http://www.firgelli.com>

[22] <http://www.ferona.cz>

[23] <http://www.skf.cz>

Přílohy:

Příloha č. 1: Manipulátor (výkres č. KRA587-SB3ROB01-01, formát A0)

Příloha č. 2: Dispoziční řešení (výkres č. KRA587-SB3ROB01-02, formát A2)

Příloha č. 3: Bakalářská práce 2010 na CD-ROM